



PROVINCIA  
DI AREZZO

SETTORE VIABILITA' E LAVORI PUBBLICI  
Servizio di Coordinamento Lavori Pubblici e PNRR



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA'  
ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS  
TRA PIEVE S.STEFANO NORD E CANILI  
lotto 1 stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori  
sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone  
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013

PROGETTO ESECUTIVO

STAZIONE APPALTANTE: PROVINCIA DI AREZZO - Settore Viabilità e Lavori Pubblici

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE

Ing. D. BONADIES  
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. M. RASIMELLI  
Ing. R. ALUIGI  
Ing. S. PELLEGRINI  
Ing. A. POLLI  
Ing. M. MARELLI  
Ing. A. LUCIA

IL GEOLOGO

Dott. Geol. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. P. BRACCIALI

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



**PINI**  
SWISS

**PINI SWISS ENGINEERS SA**

Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



**PINI**  
ITALIA

**PINI SWISS ENGINEERS Srl**

Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

GEOLOGIA E GEOTECNICA  
RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE UNICO DI PROGETTO (CUP) I27H23000190001

P00\_GE00\_GET\_RE01\_A

REVISIONE

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

- - - - - - - - - -

CODICE  
ELAB.

P00GE00GETRE01

A

-----

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

GIUGNO 2024

RUSSO

ARCELLI

BONADIES

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 2 di 75
--	---

## I N D I C E

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	5
3.1	Caratteri geolitologici.....	5
3.2	Caratteri geomorfologici .....	8
3.3	Caratteri idrogeologici .....	9
4	INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	10
4.1	Campagna di indagini pregresse 2016.....	10
4.2	Campagna di indagini 2020.....	11
4.3	Inquadramento stratigrafico.....	13
4.4	Pezometrica .....	15
4.5	Caratterizzazione geotecnica .....	15
	4.5.1 Prove penetrometriche dinamiche SPT e SCPT .....	15
	4.5.2 Indagini geofisiche.....	47
	4.5.3 Prove di laboratorio.....	59
5	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	73
	BIBLIOGRAFIA.....	75

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 3 di 75
--	---

## 1 PREMESSA

Nella presente relazione si propone di illustrare le analisi e le conclusioni dello studio geotecnico riguardante le aree soggette agli interventi di consolidamento previsti per il ripristino delle condizioni di sicurezza e funzionalità della S.S. n°3 bis "Tiberina" da utilizzare come percorso alternativo nel caso di chiusura del tratto parallelo dell'E-45 (Orte-Ravenna). L'opera rientra nell'ambito del Progetto Esecutivo dei "Lavori di risanamento profondo, rinforzo del piano viabile, ripristino di banchine laterali, sistemazione dell'idraulica di piattaforma, segnaletica orizzontale (ACCORDO QUADRO 2 – TRATTO TOSCANO)", facente parte della S.S. n°3 bis "Tiberina", itinerario E-45 (Orte Ravenna).

Gli interventi di progetto sono localizzati nel tratto di strada compreso tra l'abitato di Valsavignone e la frazione di Canili [confine regionale], per una lunghezza complessiva di circa 1.2 km; il tratto di strada in esame, compreso tra una quota di 550 m e di 620 m s.l.m., si sviluppa in destra idraulica del fiume Tevere.

Nell'ambito del presente documento, in particolare finalizzato a caratterizzare ed inquadrare gli aspetti ed i problemi geotecnici, vengono affrontati i seguenti temi:

- descrizione delle problematiche geotecniche e degli interventi;
- descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche esperite;
- analisi ed interpretazione delle indagini;
- caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici e geomeccanici;
- modelli geotecnici di sottosuolo;

La descrizione analitica degli altri interventi, le analisi svolte per verificarne la sicurezza e le prestazioni, l'identificazione dei relativi stati limite, gli approcci progettuali sono oggetto di specifici elaborati allegati al Progetto, ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 4 di 75
--	---

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione e la modellazione geotecnica sono stati eseguiti secondo le seguenti norme e leggi:

- DM 17.01.2018 – Norme tecniche per le costruzioni.
- CIRCOLARE n.617 del 02.02.2009 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008.

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento alle seguenti norme:

- Eurocodici strutturali e geotecnici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 5 di 75
--	---

### **3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA**

#### **3.1 Caratteri geolitologici**

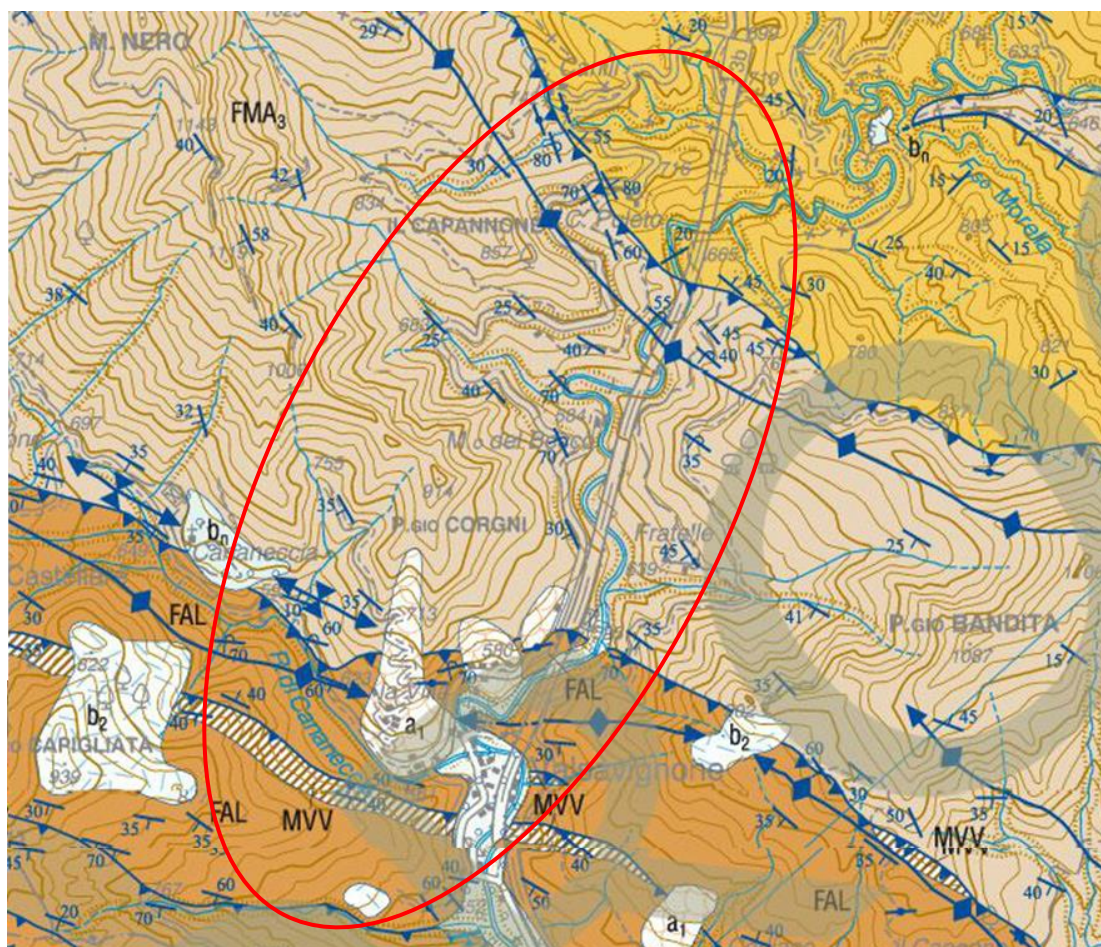
L'assetto geologico-strutturale attuale è stato determinato da una serie di fasi, iniziate nel Triassico, che hanno portato alla formazione delle catene a pieghe Appenninica, Alpina e Dinarica. A partire dal Cretacico superiore inizia la convergenza tra i margini continentali delle due placche, formandosi una zona di subduzione che, nell'Eocene superiore, determina la totale completa consunzione del bacino oceanico interposto e la collisione tra il Blocco Sardo-Corso, posto sul margine della Placca Europea, e la Placca Adriatica, costituente un promontorio di quella africana incuneato in quella europea. Focalizzando l'attenzione sul territorio di interesse, a partire dal Triassico medio si depositano successioni tipiche di un margine passivo, denominate "Toscane" e "Umbro- Marchigiane" in base della distribuzione geografica delle unità tettoniche di appartenenza. Nel corso dell'Oligocene-Miocene questo margine diviene attivo negli ultimi stadi della convergenza tra la Placca Europea (Blocco Sardo-Corso) e la Placca Adria (Appennino Settentrionale).

Durante la collisione, sulle Unità Toscane giungono le Unità Liguri, a loro volta già sovrapposte le une alle altre. Successivamente le Unità Toscane, con le sovrastanti Liguridi, si sovrappongono a loro volta alle Unità Umbro-Marchigiane, sedimentatesi più ad oriente. I meccanismi di costruzione di questo complesso edificio strutturale, costituito da una pila di unità tettoniche, di origine continentale, sormontata da unità di origine oceanica, probabilmente sono rappresentati da una serie di successivi sottoscorrimenti, inizialmente legati ad una zona di subduzione oceanica la cui immersione non è univocamente interpretata. Invece tutti gli autori concordano, per quanto riguarda le fasi collisionali ensialiche, su una vergenza verso est con inclinazioni verso ovest dei maggiori thrust crostali, processi che hanno portato alla costruzione dell'attuale edificio orogenico dell'Appennino Settentrionale. Nelle fasi più tardive hanno funzionato meccanismi di tipo prevalentemente gravitativo, che hanno fatto giungere le coltri liguri sulle Unità Umbro-Marchigiano-Romagnole più esterne.

La struttura generale delle Unità Umbro-Marchigiano-Romagnole è caratterizzata, come quella delle Unità Cervarola-Falterona più occidentali, da thrust e pieghe associate, sia anticlinali di tetto che sinclinali di muro, anche in assetto rovesciato. Nel settore di studio le

Unità Cervarola-Falterona sono rappresentate dall'Unità Tettonica Falterona con la formazione delle Arenarie del Monte Falterona (Aquitaniense superiore p.p.), presente nella parte sud-occidentale dell'area di studio. La successione Umbro-Marchigiano-Romagnola è rappresentata da due unità tettoniche: nella parte centrale dall'Unità Tettonica Monte Nero con la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola, membro di Premilcuore (Langhiano p.p.); nella parte nord-orientale dall'Unità Tettonica Pietralunga, membro di Montecoronaro (Serravalliano p.p. – Tortonianense inferiore p.p.).

Nella parte meridionale dell'area di studio l'unità delle Arenarie del Falterona (FAL) si trova in posizione sovrascorsa sull'unità della Formazione Marnoso Arenacea Romagnola membro di Premilcuore (FMA3), la quale occupa gran parte dell'area di studio. Nella parte settentrionale tale unità si trova in posizione sovrascorsa sull'unità Formazione Marnoso Arenacea Romagnola membro di Montecoronaro (FMA6) che occupa la zona settentrionale dell'area di studio (vedi figura seguente).



**Figura 3.1 - - Stralcio del Foglio 278 “Pieve Santo Stefano”, Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000. Nell’ellisse è contenuta l’area di studio.**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 7 di 75
--	---

La cronologia delle deformazioni riportata nei documenti geologici ufficiali si basa soprattutto sull'età dei membri e delle litofacies della Marnoso-Arenacea Romagnola. L'età delle unità coinvolte negli accavallamenti varia dall'interno, cioè da SW, verso l'esterno, cioè verso NE e va dal Miocene medio in poi. Questa graduale variazione cronologica permette di ipotizzare una migrazione dell'avanfossa appenninica verso l'avampaese, con le unità occidentali che si sovrappongono tettonicamente a quelle poste ad oriente.

Nel Tortoniano la sedimentazione torbiditica si sposta più a est, dove si sviluppa il bacino della Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana: si tratta di una avanfossa complessa controllata dai processi di thrusting che coinvolgono probabilmente anche il substrato carbonatico. Nelle zone più esterne prosegue, nel Pliocene inferiore, l'attività compressiva: in questa fase si ha la migrazione verso l'esterno dello scollamento profondo che ripiega le strutture della fase intramessiniana e quindi anche substrato e coltri liguri. L'emersione dell'area avviene tra la fine del Messiniano e la parte terminale del Pliocene inferiore, dalle zone interne verso quelle esterne. Nel corso del Pleistocene si organizza la rete idrografica e vengono depositi sedimenti fluviali entro le vallate. Nel corso dell'Olocene si verifica la riescavazione dei depositi alluvionali pleistocenici e olocenici e l'approfondimento degli alvei fluviali e torrentizi entro le formazioni del substrato, per un processo di generale sollevamento dell'area; è in questa fase che il ringiovanimento dei versanti determina l'attivazione dei processi erosivi, dell'accumulo di depositi colluviali all'interno delle depressioni e al piede dei pendii e, localmente, l'attivazione dei fenomeni franosi.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 8 di 75
--	---

### 3.2 Caratteri geomorfologici

Come accennato, le indagini eseguite nella presente fase hanno evidenziato localmente la presenza di spesse coltri di depositi colluviali al di sopra del substrato rappresentato da formazioni in facies di flysch. Il dato è emerso in modo molto evidente soprattutto in alcuni tratti di intervento previsti in corrispondenza di profonde depressioni di versante.

In linea generale i corpi di frana, riportati nelle fonti ufficiali sono ben riconoscibili, ma a livello di progetto i limiti delle frane e degli altri depositi di copertura (es. detrito) verranno disegnati a scala progettuale.

Il rilevamento geologico eseguito ha permesso anche di rilevare nel dettaglio i tratti di scarpata in roccia affiorante,. In altri casi, in assenza delle reti, nei tratti dove non sono presenti pareti rocciose a ridosso della sede stradale, la presenza di spesse coltri eluvio-colluviali e, in particolare, la loro abbondante frazione argillosa, sono causa di piccoli franamenti per prevalente colamento, che hanno invaso la sede stradale. In particolare, nel tratto più a nord del tracciato di progetto è presente un membro della Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA6 "Montecoronaro") in grande prevalenza costituito da marne particolarmente fessurate. Queste, a causa dell'alterazione superficiale e dell'assenza di copertura vegetale, tendono a produrre grandi quantità di materiale minuto e, localmente, distacco di blocchi, che raggiungono la carreggiata stradale, specialmente durante le stagioni avverse dal punto di vista meteorologico.

Per ulteriori chiarimenti in merito si rimanda alla relazione geologica dove sono illustrate in dettaglio tutte le situazioni di dissesto rilevate, supportate anche da una cartografia geologica e geomorfologica a scala adeguata.



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 9 di 75
--	---

### 3.3 Caratteri idrogeologici

I risultati preliminari delle indagini e dello studio eseguiti mostrano in modo molto evidente la fragilità idrogeologica del territorio attraversato dal lotto di strada di progetto. Questo territorio si sviluppa tutto in destra idrografica del Fiume Tevere, a ridosso immediato del fiume, con versanti molto inclinati, il cui piede è lambito dal corso d'acqua. In molti tratti il fiume incide direttamente il substrato lapideo e, in alcuni punti, mostra di aver risecavate le proprie alluvioni: questo testimonia il recente sollevamento della catena appenninica e indica l'azione di forte richiamo che, per tale ragione, il fiume e i suoi affluenti esercitano sui versanti. Sono evidenti, inoltre, numerose anse del fiume che rappresentano il risultato dello spostamento del corso ad opera dell'accumulo di corpi di frana. Sono presenti anche tratti in cui il fiume con altre anse di segno opposto, originatesi su lineamenti tettonici-strutturali, sta esercitando una forte azione di richiamo verso monte: in queste situazioni si sono originate alte scarpate in roccia che giungono alla sede stradale e che, per la fortissima pendenza e per l'assenza di vegetazione, sono molto esposte all'azione degli agenti meteorici. In questi casi i processi erosivi mettono a rischio la stabilità della sede stradale e delle opere di protezione presenti sul lato valle. Anche alcuni affluenti di destra del Tevere, intersecati dalla strada, esercitano le medesime azioni sui versanti opposti che in alcuni tratti mostrano pendenze molto sostenute.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 10 di 75
--	--

## 4 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il presente capitolo si propone di fornire un'interpretazione globale delle aree interessate dalla progettazione, raccogliendo in uno schema organico i dati derivanti dai sondaggi geognostici, dalle indagini effettuate in sito e dalle prove di laboratorio, nonché dalle ricognizioni effettuate in campagna e dai rilievi, che hanno consentito, assieme, una valutazione accurata del quadro geotecnico di riferimento.

### 4.1 Campagna di indagini pregresse 2016.

Nel piano di indagini eseguite da Elletipi S.r.l. dal 10/11/2016 al 14/11/2016 e da Dimms Control S.p.a. in data 18/11/2016, sono stati eseguiti le seguenti prove:

- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S3 (m 5,00) con una prova penetrometrica dinamica andata a rifiuto, n. 1 SPT (m 1,00-1,15  $N_{spt} = R$ );
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW3";
- n. 1 campione lapideo (m 2,60-3,10) su cui sono state eseguite una prova di trazione indiretta "Brasiliana" ed una prova di compressione monoassiale;
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S2 (m 5,00) con una prova penetrometrica dinamica andata a rifiuto, n. 1 SPT (m 1,00-1,15  $N_{spt} = R$ );
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW2";
- n. 1 campione lapideo (m 4,54-4,88) su cui sono state eseguite una prova di trazione indiretta "Brasiliana" ed una prova di compressione monoassiale;
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S1 (m 5,00) con una prova penetrometrica dinamica andata a rifiuto, n. 1 SPT (m 1,00-1,10  $N_{spt} = R$ );
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW1";
- n. 1 campione lapideo (m 4,60-5,00) su cui sono state eseguite una prova di trazione indiretta "Brasiliana" ed una prova di compressione monoassiale;
- Sondaggio S4 (m 8,00) – n. 1 SPT (m 2,40-2,85  $N_{spt} = 7$ ) – N. 1 campione lapideo (m 7,20-7,87)

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 11 di 75
--	--

- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S4 (m 8,00) con una prova penetrometrica dinamica, n. 1 SPT (m 2,40-2,85   Nspt = 7);
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW4";
- n. 1 campione lapideo (m 7,20-7,87) su cui sono state eseguite una prova di trazione indiretta "Brasiliana" ed una prova di compressione monoassiale;

## 4.2 Campagna di indagini 2020

A supporto del Progetto Esecutivo, la RPA, su incarico di Anas S.p.A., ha pianificato e coordinato una campagna di indagine finalizzata alla caratterizzazione geologica, geotecnica, sismica e ambientale dei terreni presenti.

Le indagini programmate, in particolare, sono state finalizzate principalmente ad una verifica puntuale del modello geologico e geotecnico, segnatamente in alcuni punti di particolare interesse ove sono ubicati gli interventi di progetto:

Le indagini eseguite vengono di seguito elencate:

- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S6 (m 12,00);
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW13";
- n. 1 campione lapideo (m 10,6-11,0) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;
- prova penetrometrica dinamica SCPT1 (m 5,20)
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW5";
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S12 (m 12,00) con n. 3 SPT (di cui l'ultima andata a rifiuto);
- prova penetrometrica dinamica SCPT4 (m 3,20)
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW6";
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S7 (m 19,90) con n. 2 SPT;

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b></p>	<p>P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 12 di 75</p>
---	--

- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW7";
- n. 1 campione lapideo (m 18,0-18,4) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S8 (m 19,50) con n. 2 SPT (di cui l'ultima andata a rifiuto);
- n. 1 campione lapideo (m 17,6-18,0) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S9 (m 30,50) con n. 3 SPT (di cui l'ultima andata a rifiuto);
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW8";
- n. 1 campione lapideo (m 29,7-30,0) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;
- prova penetrometrica dinamica SCPT2 (m 6,20);
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW9";
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S10 (m 13,50) con n. 1 SPT andata a rifiuto;
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW10";
- n. 1 campione lapideo (m 10,0-10,6) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S11 (m 24,70) con n. 2 SPT e n. 2 campioni indisturbati S11-C1 (m 2,5-3,0) e S11-C2 (m 5,5-6,2);
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW11";
- n. 1 campione lapideo (m 21,2-21,7) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo S5 (m 15,80) con n. 3 SPT;
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) "MASW12";

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 13 di 75
--	--

- prova penetrometrica dinamica SCPT3 (m 3,00);
- n. 1 campione lapideo (m 11,2-11,7) su cui è stata eseguita una prova di compressione monoassiale;

Le risultanze delle analisi ambientali non costituiscono oggetto del presente elaborato e sono analizzate nell'ambito della documentazione geologica allegata al progetto.

#### **4.3 Inquadramento stratigrafico**

L'esecuzione delle perforazioni ha permesso di osservare direttamente la struttura del sottosuolo e di definire la locale successione stratigrafica.

Le risultanze di dettaglio delle perforazioni sono consultabili nell'elaborato "Risultati indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche".

Per quanto concerne il sondaggio S5, troviamo da piano campagna e fino a 7.5m di profondità il materiale di riporto di cui è costituito il corpo stradale. Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 11.60m. A partire da tale quota a seguire è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso. Il sondaggio S6 è costituito per i primi 0.7m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 0.90m. Successivamente è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso. Il sondaggio S7 è costituito fino a 1.35m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 14.90m. Successivamente è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso. Il sondaggio S8 è costituito fino a 1.70m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 15.00m. Successivamente è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso. Il sondaggio S9 è presente fino a 1.80m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 26.00m. Successivamente è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso.

Il sondaggio S10 è presente fino a 1.70m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 10.00m. Successivamente è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso. Il sondaggio S11 è costituito fino a 1.80m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 20.00m. Successivamente è presente il substrato

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 14 di 75
--	--

costituito da materiale roccioso di tipo marnoso. Il sondaggio S12 è costituito fino a 1.25m di profondità da materiale di riporto (corpo stradale). Seguono alternanze, di coltri eluvio-colluviali fino a 9.40m. Successivamente è presente il substrato costituito da materiale roccioso di tipo marnoso.

Dalla valutazione congiunta delle stratigrafie di sondaggio, dei dati sismostratigrafici, delle informazioni desumibili dalle indagini in situ, dai campioni analizzati in laboratorio e dalle informazioni desumibili dai sopralluoghi svolti a carattere ricognitivo, ai fini geotecnici sono stati distinti i seguenti tipi di terreno:

- **TERRENO A: Riporti;**
- **TERRENO B: Frana;**
- **TERRENO C: Marne;**

In definitiva, dunque, la caratterizzazione meccanica si è concentrata sui 3 litotipi elencati ed effettivamente rinvenuti dai sondaggi eseguiti.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 15 di 75
--	--

#### 4.4 Pezometrica

Dalle letture eseguite nel corso del corrente livello di progettazione la falda è presente a quote che variano a seconda dell'area su cui è ubicato il piezometro.

Nella tabella che segue sono riportate le misure dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri installati.

I risultati delle misure eseguite, indicano la profondità del livello piezometrico (in metri) rispetto al piano di campagna.

Lecture	Sondaggio	S5	S7	S8	S9	S10	S11	S12
22.05.2020	Livello (m)	7,20	11,65	asciutto	12,25	asciutto	8,60	2,96
29.05.2020	Livello (m)	7,00	11,99	asciutto	12,27	asciutto	8,92	2,18

**Tabella 4.1 – misurazioni livello piezometrico.**

#### 4.5 Caratterizzazione geotecnica

##### 4.5.1 Prove penetrometriche dinamiche SPT e SCPT

Le prove SPT hanno interessato unicamente le unità TERRENO A, B. Il comportamento geotecnico di questi terreni osservabile alla megascale del sito è quello di un terreno granulare, con le prove, dunque, che vengono elaborate in termini di parametri drenati ed in tensioni efficaci.

Per tenere conto dei fattori di variabilità connessi ai diversi dispositivi di infissione presenti sul mercato e alla pressione efficace del terreno alla profondità di esecuzione della prova, viene valutato in funzione della profondità il valore normalizzato di  $N_{SPT}$ , cioè  $(N_1)_{60}$ , ricavato dalla seguente procedura:

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 16 di 75
--	--

1. Si esegue la correzione di  $N_{SPT}$ , numero di colpi/piede misurato in avanzamento con la perforazione di sondaggio, per sabbie limose sotto falda secondo l'espressione di Terzaghi e Peck (1948)  $N_C = 15 + 0.5 \cdot (N_{SPT} - 15)$ .
2. Si determina  $(N_1)_{60}$ , numero di colpi normalizzato ad una pressione effettiva di confinamento di circa 100 kPa (tramite il fattore di correzione  $C_N$ ) ed in funzione dei fattori di correzione per rapporto di energia, diametro del foro, lunghezza delle aste e attrezzo campionatore secondo l'espressione:

$$(N_1)_{60} = N_C \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S.$$

Per  $C_N$  si è adottata la formulazione di  $C_N = \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n = \left( \frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$  (Liao e Whitman, 1986).

Per  $C_E$ , assumendo un fattore di rendimento energetico  $ER$  del sistema di infissione pari a 60 (espresso in %), in accordo con la configurazione di prova correntemente adoperata in Italia risulta  $C_E = \frac{ER}{60} = \frac{60}{60} = 1$ .

I coefficienti  $C_B$  (diametro del foro) e  $C_S$  (attrezzo campionatore) sono stati assunti unitari, in quanto le prove sono state eseguite in accordo alle raccomandazioni fornite dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI, 1977).

Il fattore correttivo  $C_R$  (lunghezza delle aste della macchina esecutrice L) viene assunto pari a 0.75 per  $L < 3m$ , 0.80 per  $L = 3 \div 4m$ , 0.85 per  $L = 4 \div 6m$ , 0.95 per  $L = 6 \div 10m$ , 1.0 per  $L = 10 \div 30m$  (Skempton, 1986; Robertson e Wride, 1998).

Per la determinazione dei parametri fisico-meccanici, per le prove non andate a rifiuto sono state utilizzate le seguenti correlazioni:

- Densità relativa:  $D_R(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{(N)_{60}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{v0})}}$  (Bazaraa, 1962);



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 17 di 75
--	--

- Densità relativa (Skempton):

Il metodo è valido per le sabbie da fini a grossolane, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di  $Dr(\%)$  viene sovrastimato, nei depositi limosi viene sottostimato. Il metodo si basa sulla seguente relazione:

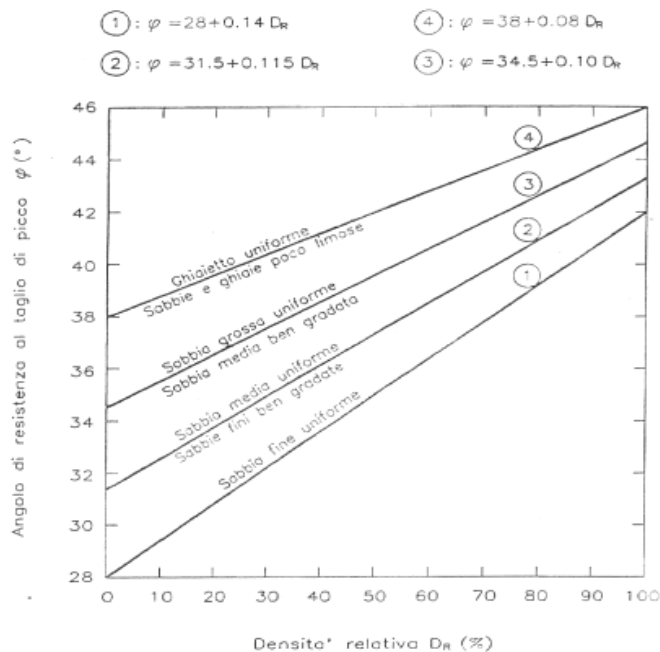
$$Dr(\%) = 100 \left( \frac{N_{spt} \sqrt{\frac{98}{\sigma}}}{32 + 0.288\sigma} \right)$$

dove:

$\sigma$  = pressione efficace in kPa;

$N_{spt}$  = numero di colpi medio nello strato;

- Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p$  è stato utilizzato il metodo di correlazione indiretta proposto da Schmertmann (1978) che fornisce il valore di  $\phi'_p$  noto il valore della densità relativa  $D_R$ .



**Figura 4.1 - Abaco  $\phi'$  -  $D_R$  (Schmertmann, 1978).**

Nel caso specifico, in funzione della litologia riscontrata alla profondità di misura, si è adottata nella totalità dei casi la seguente relazione:

- TERRENO A e TERRENO B, limi sabbio-argillosi a sabbie con limo,

$$\phi' = 28 + 0.14 D_R;$$

- I valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p$  sono stati stimati anche con la metodologia di Bolton-Baligh.

In accordo a Bolton (1986):

$$\phi'_p = \phi'_{cv} + m \cdot DI$$

$$DI = D_R \cdot [Q - \ln(p'_f)] - R$$

essendo:

$\phi'_{cv}$  = angolo di attrito a volume costante (°);

$m$  = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione (-);

$DI$  = indice di dilatanza (-);

$D_R$  = densità relativa (-);

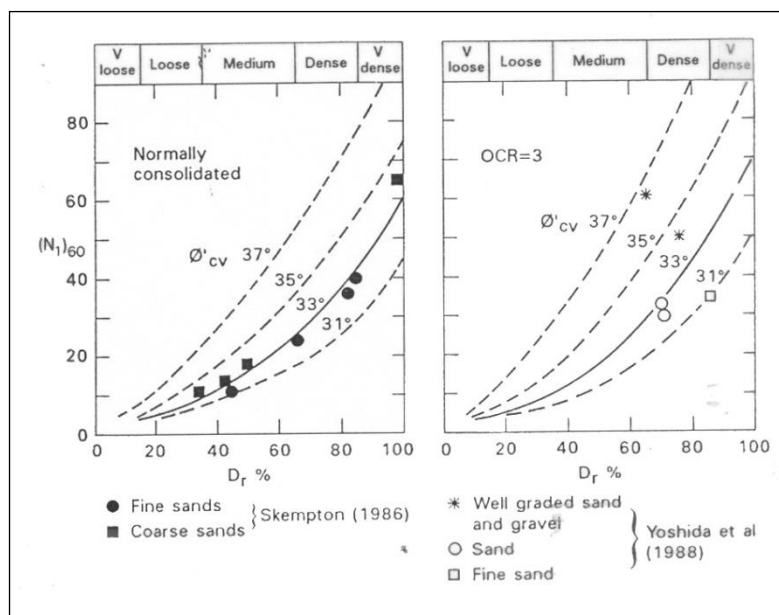
$Q$  e  $R$  = variabili intrinseche del terreno (-);

$p'_f$  = pressione efficace media a rottura (kPa);

$\sigma'_{ff}$  = tensione normale alla superficie di rottura in condizioni di rottura (kPa).

L'angolo di attrito a volume costante  $\phi'_{cv}$  è determinabile da prove di laboratorio o stimabile sulla base di quanto indicato da Bolton (1986) nella Figura 4.2 e con i valori suggeriti da Stroud (1988) e Youd (1972) (cfr.

**Tabella 4.2).**



**Figura 4.2 - Valori dell'angolo di attrito a volume costante  $\phi'_{cv}$  (da Bolton, 1986)**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 20 di 75
--	--

$\phi'_{cv}$	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie con spigoli vivi	38°	34°
Sabbie con spigoli arrotondati	33°	30°

**Tabella 4.2 - Valori dell'angolo di attrito a volume costante  $\phi'_{cv}$  in accordo a Stroud (1988) e Youd (1972).**

Nel caso specifico, in relazione alle litologie riscontrate alle varie profondità di misura, si è assunto in tutti casi  $\phi'_{cv}=30^\circ$ .

Per la costante empirica  $m$ , dipendente dalla condizione di deformazione prevalente, si è assunto il valore cautelativo di 3, in accordo ai valori proposti da Bolton (1986).

Condizioni di deformazione	$m$ (-)
Tipiche di prove triassiali di compressione (problemi di carico in condizioni assialsimmetriche)	3
Tipiche di prove di taglio semplice (problemi in condizioni di deformazione piana)	5

**Tabella 4.3 - Valori della costante empirica  $m$  in accordo a Bolton (1986).**

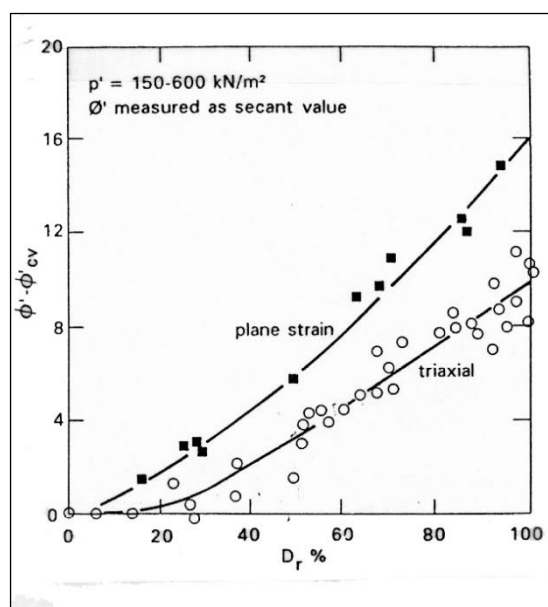
Le variabili intrinseche del terreno  $Q$  e  $R$  possono assumersi rispettivamente pari a 10 e - 1, congruentemente con i valori suggeriti da Salgado et al. per sabbie quarzose come quelle di interesse (2000 e 2004).

In accordo all'involuppo di rottura curvilineo proposto da Baligh (1975) fino a valori di  $\sigma'_{ff} = 272$  kPa l'angolo di attrito di picco  $\phi'_p$  può essere assunto indipendente dalla pressione di confinamento; pertanto, in prima approssimazione, l'angolo di attrito di picco  $\phi'_p$  può essere determinato adottando  $p'_f = 1.4 \cdot \sigma'_{ff} = 1.4 \times 272 \text{ kPa} = 380 \text{ kPa}$ .

Per valori di  $p'_f$  superiori a 380 kPa (caso non di interesse per le opere superficiali in oggetto), l'angolo di attrito  $\phi'_p$  tenderà invece a diminuire; esso andrà determinato caso per

caso sulla base di una valutazione dell'entità di  $\sigma'_{ff}$  o di  $p'_f$  associabile allo specifico problema al contorno da esaminare.

Per controllo, i valori stimati per  $m \cdot DI = \phi'_p - \phi'_{cv}$  sono stati confrontati con il grafico sperimentale di Figura 4.3 (Bolton, 1986).



**Figura 4.3 - Valori di  $\phi'_p - \phi'_{cv}$  in accordo a Bolton (1986).**

- Road Bridge Specification:

Il metodo è valido per sabbie fini o limose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8 - 10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ( $\sigma > 15-20$  t/mq).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$- \phi = 15N_{spt} + 15$$

- Japanese National Railway:

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 22 di 75
--	--

Il metodo è valido per sabbie medie - grosse fino a sabbie ghiaiose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità superiori a 8 - 10 m nel caso di terreni sopra falda e di 15 m per terreni immersi in falda ( $\sigma > 15-20$  t/mq). Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = 0,3N_{spt} + 27$$

- De Mello:

Il metodo di De Mello è valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il p.c.). E' da considerarsi inattendibile però per valori di  $\phi$  superiori a  $38^\circ$ . Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = 19 - 3,8\sigma + 8,73\text{Log}(N_{spt})$$

- Owasaki & Iwasaki:

Il metodo è valido per sabbie da medie a grossolane fino a debolmente ghiaiose. Anche questo metodo trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8 - 10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ( $\sigma > 15-20$  t/mq). Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 20N_{spt} + 15$$

- Modulo di elasticità (Schmertmann):

Il metodo è valido per le sabbie in genere. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di  $N_{spt}$  ad una diminuzione di  $E$  con la profondità. Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(\text{kg / cmq}) = 2BN_{spt}$$

dove  $N_{spt}$  è il numero di colpi medio nello strato e  $B$  è una costante variabile in funzione della litologia:

<b>B</b>	<b>Litologia</b>
4	Sabbia fine
6	Sabbia media
10	Sabbia grossolana

**Tabella 4.4 – Valore di B in funzione della litologia (Schmertmann).**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 23 di 75
--	--

- Modulo di elasticità:

$$\circ E' = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2 \quad (\text{Denver, 1982})$$

#	s <sub>1</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	s <sub>2</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Terreno
1	7.56	187.5	Sabbia e ghiaia
2	10.43	367.9	Sabbia
3	5.17	74.6	Sabbia
4	4.78	71.7	Sabbia satura
5	3.16	15.8	Sabbia argillosa

**Tabella 4.5 – Coefficienti per la stima del modulo di elasticità (Denver, 1982).**

In particolare, nel caso specifico si è adottata la relazione “3”.

- Modulo di Young secante, cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%:

$$\circ E'_{25} (kg/cm^2) = (10.5 - 3.5 \cdot D_R) \cdot N_{SPT} \quad (\text{Jamiolkowski et al. 1988})$$

La relazione è valida per sabbie normalconsolidate.

- La rigidezza a taglio a piccole deformazioni  $G_0$  è stata determinata a partire dai valori delle velocità delle onde trasversali  $V_s$  impiegando la seguente relazione ricavabile dalla teoria dell'elasticità:

$$G = \gamma / g \cdot V_s^2,$$

dove la velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  è ricavata in base alla seguente correlazione di Ohta e Goto (1978):

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 24 di 75
--	--

$$V_s(m/s) = 54.33 \cdot N_{SPT}^{0.173} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \left( \frac{z}{0.303} \right)^{0.193} \quad (\text{Ohta e Goto})$$

con  $N_{SPT}$  numero di colpi medio misurato nello strato,  $z$  è la profondità in m da p.c.,  $\alpha$  fattore che tiene conto dell'età del deposito (1.0 per i depositi olocenici),  $\beta$  fattore che tiene conto del tipo di terreno (1.086 per sabbie).

I valori misurati del numero di colpi  $N_{SPT}$ , numero di colpi necessario per ottenere l'avanzamento prefissato, sono tabulati in forma generale in Tabella 4.6. Nella Tabella 4.7 e Tabella 4.8, invece, sono riportati i valori medi dei dati sperimentali rispettivamente per il TERRENO A e per il TERRENO D. Per le prove non andate a rifiuto, sono riportati quindi le stime desunte per i parametri meccanici sulla base delle relazioni sopra introdotte.



											terreni incoerenti					
S	TERRENO	LITOLOGIA	PROFONDITA'	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>	γ (t/m³)	(N) <sub>60</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	φ (°)					
n°			media								RoadBridgeSp.	Schmertmann (1978)	(Bolton, 1986)	Jap.Railway	DeMello	Owasaki & Iwasaki
S4	A (2016)	Riporto (rilevato stradale)	2,4	5	3	4	7	1,95	5	10	25	32	33	29	26	27
S5	A	Riporto (rilevato stradale)	3,2	9	6	3	9	1,95	7	11	27	32	33	30	27	28
S5	A	Riporto (rilevato stradale)	6,2	11	12	13	25	1,95	24	23	34	34	35	35	31	37
S5	B	Frana	9,2	11	34	11	45	2,00	43	33	41	35	36	41	33	45
S7	B	Frana	3,2	4	7	8	15	2,00	12	19	30	34	34	32	29	32
S7	B	Frana	6,6	8	14	21	35	2,00	33	30	38	35	35	38	32	41
S8	B	Frana	2,7	4	6	6	12	2,00	9	16	28	33	34	31	28	30
S9	B	Frana	3,2	3	13	6	19	2,00	15	24	32	34	35	33	30	34
S9	B	Frana	5,2	4	2	6	8	2,00	7	8	26	32	32	29	26	28
S11	B	Frana	3,4	8	11	13	24	2,00	19	29	34	35	36	34	31	37
S11	B	Frana	6,4	8	16	11	27	2,00	26	24	35	34	35	35	31	38
S12	B	Frana	3,2	3	6	11	17	2,00	14	21	31	34	35	32	29	33
S12	B	Frana	5,7	6	3	9	12	2,00	10	11	28	32	33	31	28	30

Dr (%) Bazaraa (1962)	Dr (%) Skempton	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	E (MPa) Schmertmann	E' (MPa) Denver (1982)	E'25 (MPa) Jamiolkowski	E (MPa) D'Appolonia et alii	G0 (MPa) Ohta e Goto
30	48	51	6	11	6	24	36
32	48	52	7	11	8	26	44
45	59	63	20	19	21	38	81
50	63	70	36	29	37	54	119
41	61	62	12	14	13	31	54
51	66	70	28	24	29	46	96
37	59	59	10	13	10	28	47
46	69	67	15	16	15	34	59
25	36	44	6	11	7	25	53
50	75	71	19	19	19	38	65
45	59	64	22	20	23	40	87
43	65	64	14	15	14	32	57
30	42	50	10	13	11	28	63

Tabella 4.6 – SPT generale: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

												terreni incoerenti					
S	TERRENO	LITOLOGIA	PROFONDITA'	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	γ (t/m³)	(N) <sub>60</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	φ (°)					
												RoadBridgeSp.	Schmertmann (1978)	(Bolton, 1986)	Jap.Railway	DeMello	Owasaki & Iwasaki
n°			media														
S5	A	Riporto (rilevato stradale)	3,2	9	6	3	9		1,95	7	11	27	32	33	30	27	28
S5	A	Riporto (rilevato stradale)	6,2	11	12	13	25		1,95	24	23	34	34	35	35	31	37

MAX	6,2
MIN	3,2
MEDIA	4,7

MAX	34,4	34,2	34,7	34,5	30,7	37,4
MIN	26,6	32,4	33,3	29,7	27,1	28,4
MEDIA	30,5	33,3	34,0	32,1	28,9	32,9

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 28 di 75
--	--

	terreni incoerenti							
	Dr (%)	Dr (%)	Dr (%)	E' (MPa)	E (MPa)	E'25 (MPa)	E (MPa)	Go (MPa)
	Bazaraa (1962)	Skempton	(Yoshida et al., 1988)	Denver (1982)	Schmertmann	Jamiolkowski	D'Appolonia et alii	Ohta e Goto
	32	48	52	11	7	8	26	44
	45	59	63	19	20	21	38	81
MAX	44,6	58,5	63,3	19,1	20,0	21,1	38,4	81,3
MIN	31,7	47,8	52,0	11,5	7,2	7,9	26,0	44,3
MEDIA	38,1	53,1	57,7	15,3	13,6	14,5	32,2	62,8

**Tabella 4.7 – SPT S5\_Riporto: valori medi dei dati sperimentali per il TERRENO A.**

## Pag. 29 di 75

## Relazione geotecnica

MAX	37,9	35,2	35,5	37,5	32,0	41,5
MIN	30,0	33,7	34,5	31,5	29,0	32,3
MEDIA	34,0	34,5	35,0	34,5	30,5	36,9



<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b></p>	<p>P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 31 di 75</p>
---	--





LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 33 di 75
--	--

<b>MEDIA</b>	4,9		<b>MEDIA</b>	34,5	34,7	35,3	34,7	30,9	37,6
--------------	-----	--	--------------	------	------	------	------	------	------



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 35 di 75
--	--

		terreni incoerenti							
	Dr (%) Bazaraa (1962)	Dr (%) Skempton	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	E' (MPa) Denver (1982)	E (MPa) Schmertmann	E' <sub>25</sub> (MPa) Jamiolkowski	E (MPa) D'Appolonia et alii	G <sub>0</sub> (MPa) Ohta e Goto	
	44	66	65	15	14	14	32	55	
	30	42	50	13	10	11	28	61	
	MAX	43,6	65,6	64,6	15,3	13,6	13,9	32,2	61,0
MIN	30,2	42,3	50,3	12,9	9,6	10,8	28,4	55,2	
MEDIA	36,9	54,0	57,4	14,1	11,6	12,4	30,3	58,1	

Tabella 4.11 – SPT S12\_Frana: valori medi dei dati sperimentali per il TERRENO B.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 36 di 75
--	--

L'andamento del numero di colpi  $N_{SPT}$  con la profondità è risultato per i sondaggi S4 e S5:

- TERRENO A:  $N_{SPT} = 7 \div 25$ ,

per il sondaggio S5:

- TERRENO B:  $N_{SPT} = 45$ ,

per il sondaggio S7:

- TERRENO B:  $N_{SPT} = 15 \div 35$ ,

per il sondaggio S8:

- TERRENO B:  $N_{SPT} = 12$ ,

per il sondaggio S9:

- TERRENO B:  $N_{SPT} = 8 \div 19$ ,

per il sondaggio S11:

- TERRENO B:  $N_{SPT} = 24 \div 27$ ,

per il sondaggio S12:

- TERRENO B:  $N_{SPT} = 12 \div 17$ ,

In base ai valori misurati, i terreni in esame sono da ritenersi da poco addensati per il TERRENO A a mediamente addensati per il TERRENO B.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 37 di 75
--	--

Nelle tabelle precedenti sono riportati, dove le  $N_{spt}$  non sono andate a rifiuto, l'andamento con la profondità della densità relativa  $D_R$ . In tal caso i dati mostrano una dispersione non trascurabile; risulta individuabile un trend mediamente crescente con la profondità per il TERRENO A, a dimostrazione delle caratteristiche discretamente buone del materiale di riporto del corpo stradale. Il TERRENO B invece riporta un trend mediamente decrescente con la profondità con caratteristiche scadenti tipiche di un ammasso franoso.

Per i sondaggi S4 e S5:

- TERRENO A:  $D_R = 30 \div 45\%$ ,

per il sondaggio S5:

- TERRENO B:  $D_R = 50\%$ ,

per il sondaggio S7:

- TERRENO B:  $D_R = 41 \div 51\%$ ,

per il sondaggio S8:

- TERRENO B:  $D_R = 37\%$ ,

per il sondaggio S9:

- TERRENO B:  $D_R = 26 \div 46\%$ ,

per il sondaggio S11:

- TERRENO B:  $D_R = 46 \div 51\%$ ,

per il sondaggio S12:

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 38 di 75
--	--

- TERRENO B:  $D_R = 30 \div 44\%$ ,

L'interpretazione delle misure penetrometriche SPT con le metodologie riportate nelle tabelle precedenti fornisce i seguenti valori di  $\phi'$ .

Per i sondaggi S4 e S5:

- TERRENO A:  $\phi' = 26^\circ \div 37^\circ$ ,

per il sondaggio S5:

- TERRENO B:  $\phi' = 33^\circ$ ,

per il sondaggio S7:

- TERRENO B:  $\phi' = 29^\circ \div 35^\circ$ ,

per il sondaggio S8:

- TERRENO B:  $\phi' = 33^\circ$ ,

per il sondaggio S9:

- TERRENO B:  $\phi' = 26^\circ \div 34^\circ$ ,

per il sondaggio S11:

- TERRENO B:  $\phi' = 31^\circ \div 38^\circ$ ,

per il sondaggio S12:

- TERRENO B:  $\phi' = 28^\circ \div 35^\circ$ ;

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 39 di 75
--	--

I valori stimati per  $E'_{25}$  dalle prove penetrometriche SPT presentano una dispersione non trascurabile ed evidenziano un andamento lievemente crescente con la profondità.

Si osserva che lo scarto esistente tra i valori minimo e massimo su esposti è imputabile tanto dall'eterogeneità dei terreni afferenti ai litotipi (la variabilità delle caratteristiche di deformabilità è legata alla maggiore o minore predominanza locale della frazione sabbiosa, al contenuto di fine, ecc.) quanto all'impiego di molteplici correlazioni di letteratura.

Può assumersi per i sondaggi S4 e S5:

- TERRENO A:  $E'_{25} = 6 \div 8 \text{ MPa}$ ,

per il sondaggio S5:

- TERRENO B:  $E'_{25} = 37 \text{ MPa}$ ,

per il sondaggio S7:

- TERRENO B:  $E'_{25} = 13 \div 29 \text{ MPa}$ ,

per il sondaggio S8:

- TERRENO B:  $E'_{25} = 10 \text{ MPa}$ ,

per il sondaggio S9:

- TERRENO B:  $E'_{25} = 7 \div 15 \text{ MPa}$ ,

per il sondaggio S11:

- TERRENO B:  $E'_{25} = 19 \div 23 \text{ MPa}$ ,

per il sondaggio S12:

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 40 di 75
--	--

- TERRENO B:  $E'_{25} = 10 \div 20 \text{ MPa}$ ;

Nelle tabelle su riportate viene determinato anche il valore della rigidezza iniziale  $G_0$  con la profondità determinato dall'interpretazione delle prove penetrometriche SPT.

Di seguito si riportano i dati sperimentali e l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT effettuate in avanzamento con le verticali di indagine per la determinazione di  $E_{vc}$  modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine ed  $E_{UR}$ : modulo elastico valutato nel tratto di scarico-ricarico (per paratie di pali).

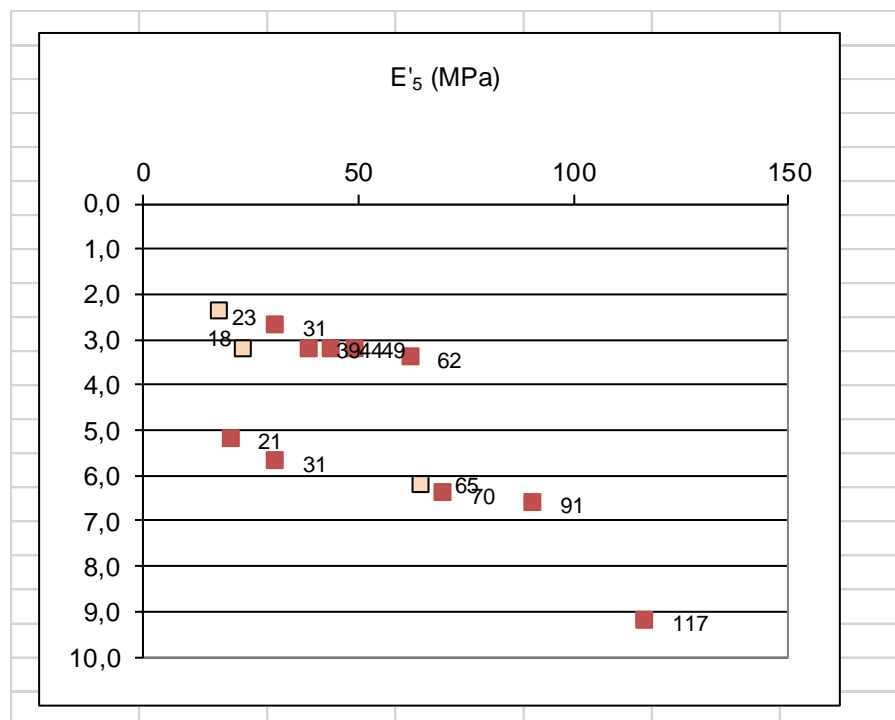
I valori misurati del numero di colpi  $N_{SPT}$ , numero di colpi necessario per ottenere l'avanzamento prefissato, sono tabulati in tabella seguente.

S n°	TERRENO	PROFONDITA' media	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	E' <sub>5</sub> (MPa) Randolph
S4	A (2016)	2,4	5	3	4	7	7	18
S5	A	3,2	9	6	3	9	9	23
S5	A	6,2	11	12	13	25	25	65
S5	B	9,2	11	34	11	45	45	117
S7	B	3,2	4	7	8	15	15	39
S7	B	6,6	8	14	21	35	35	91
S8	B	2,7	4	6	6	12	12	31
S9	B	3,2	3	13	6	19	19	49
S9	B	5,2	4	2	6	8	8	21
S11	B	3,4	8	11	13	24	24	62
S11	B	6,4	8	16	11	27	27	70
S12	B	3,2	3	6	11	17	17	44
S12	B	5,7	6	3	9	12	12	31

**Tabella 4.12 - Riepilogo N<sub>SPT</sub>.**

Nella tabella su riportata sono indicati anche le stime desunte per  $E'_5$ , modulo elastico per deformazioni molto ridotte, valore tipicamente assunto in calcoli lineari elastici nell'ambito delle deformazioni attese per paratie e pali, sulla base della correlazione di letteratura proposta da Randolph:





**Figura 4.4 – Andamento del modulo elastico  $E'_s$  con la profondità  $z$  da p.c..**

Tale valore coincide, per le paratie, con il modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine  $E_{VC}$ .

Per il modulo elastico determinato nel tratto di scarico e ricarico, per le paratie può assumersi  $E_{UR} = 1.6 \cdot E_{VC}$ .

I risultati dei valori medi di  $E_{VC}$  ed  $E_{UR}$  si rimanda alla tabella di sintesi dei parametri geotecnici.

Nelle tabelle a seguire si riportano le 4 prove SCPT. Alcune prove SCPT sono molto corte perché hanno incontrato il substrato. Su tali prove sono state interpretate, in funzione dei colpi necessari per l'avanzamento dello strumento, la densità relativa, angolo d'attrito e modulo elastico.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica</p>	<p>P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 42 di 75</p>
--	--

PROVA	SPT	TERRENO	PROFONDITA'	N <sub>SCPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' <sub>25</sub> (MPa) Jamolkowski NC (1988)
	-		media									
SCPT1	1	A	0,2	7	11	11	92	58	36	32	13	9
SCPT1	2	A	0,4	5	8	8	70	46	34	31	11	7
SCPT1	3	A	0,6	1	2	2	37	20	31	27	8	1
SCPT1	4	A	0,8	1	2	2	34	19	31	27	8	1
SCPT1	5	A	1,0	1	2	2	33	18	30	27	8	1
SCPT1	6	A	1,2	7	11	11	61	45	34	30	13	9
SCPT1	7	B	1,4	14	21	21	74	61	37	32	18	18
SCPT1	8	B	1,6	5	8	8	51	35	33	29	11	7
SCPT1	9	B	1,8	4	6	6	46	31	32	29	11	6
SCPT1	10	B	2,0	4	6	6	45	30	32	29	11	6
SCPT1	11	B	2,2	3	5	5	52	37	33	30	10	4
SCPT1	12	B	2,4	4	6	6	53	38	33	30	11	5
SCPT1	13	B	2,6	3	5	5	51	36	33	29	10	4
SCPT1	14	B	2,8	4	6	6	52	37	33	30	11	6
SCPT1	15	B	3,0	3	5	5	50	35	33	29	10	4
SCPT1	16	B	3,2	3	5	5	51	36	33	29	10	4
SCPT1	17	B	3,4	3	5	5	51	36	33	29	10	4
SCPT1	18	B	3,6	4	6	6	52	37	33	29	11	6
SCPT1	19	B	3,8	8	12	12	56	41	36	33	28	11
SCPT1	20	B	4,0	11	17	17	58	44	37	33	31	15
SCPT1	21	B	4,2	15	23	23	63	49	37	34	36	20

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b></p>	<p>P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 43 di 75</p>
---	--

SCPT1	22	B	4,4	14	21	21	62	47	37	34	35	19
SCPT1	23	B	4,6	38	57	57	78	66	39	36	62	47
SCPT1	24	B	4,8	51	77	77	84	74	40	37	77	61
SCPT1	25	B	5,0	68	102	102	91	82	41	38	96	78
SCPT1	26	B	5,2	70	105	105	91	83	41	38	98	80

**Tabella 4.13 - Riepilogo SCPT1**

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b></p>	<p>P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 44 di 75</p>
---	--

PROVA	SPT	TERRENO	PROFONDITA'	N <sub>SCPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' <sub>25</sub> (MPa) Jamiolkowski NC (1988)
	-		media									
SCPT1	1	A	0,2	1	2	2	47	22	31	28	8	1
SCPT1	2	A	0,4	2	3	3	51	29	32	29	9	3
SCPT1	3	A	0,6	1	2	2	37	20	31	27	8	1
SCPT1	4	A	0,8	1	2	2	34	19	31	27	8	1
SCPT1	5	A	1,0	2	3	3	41	25	32	28	9	3
SCPT1	6	A	1,2	1	2	2	31	17	30	27	8	1
SCPT1	7	B	1,4	2	3	3	38	23	31	28	9	3
SCPT1	8	B	1,6	2	3	3	37	22	31	28	9	3
SCPT1	9	B	1,8	2	3	3	36	22	31	28	9	3
SCPT1	10	B	2,0	3	5	5	40	26	32	28	10	4
SCPT1	11	B	2,2	2	3	3	51	36	33	29	9	3
SCPT1	12	B	2,4	3	5	5	52	37	33	29	10	4
SCPT1	13	B	2,6	3	5	5	51	36	33	29	10	4
SCPT1	14	B	2,8	3	5	5	51	36	33	29	10	4
SCPT1	15	B	3,0	2	3	3	49	34	33	29	9	3
SCPT1	16	B	3,2	2	3	3	50	35	33	29	9	3
SCPT1	17	B	3,4	5	8	8	53	38	33	30	11	7
SCPT1	18	B	3,6	4	6	6	52	37	33	29	11	6
SCPT1	19	B	3,8	8	12	12	56	41	36	33	28	11
SCPT1	20	B	4,0	4	6	6	51	36	36	32	23	6
SCPT1	21	B	4,2	4	6	6	52	36	36	32	23	6
SCPT1	22	B	4,4	3	5	5	50	35	35	32	22	4
SCPT1	23	B	4,6	3	5	5	50	34	35	32	22	4
SCPT1	24	B	4,8	3	5	5	50	34	35	32	22	4
SCPT1	25	B	5,0	4	6	6	51	35	36	32	23	6
SCPT1	26	B	5,2	5	8	8	51	36	36	32	24	7
SCPT1	27	B	5,4	5	8	8	51	35	36	31	24	7

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 45 di 75
--	--

SCPT1	28	B	5,6	14	21	21	60	44	37	31	35	19
SCPT1	29	B	5,8	13	20	20	58	43	36	31	33	18
SCPT1	30	B	6,0	11	17	17	56	41	36	31	31	15
SCPT1	31	B	6,2	80	120	120	97	88	42	31	109	89

**Tabella 4.14 - Riepilogo SCPT2**

PROVA	SPT	TERRENO	PROFONDITA'	N <sub>SCPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E'25 (MPa) Jamiołkowski NC (1988)
	-		media									
SCPT1	1	A	0,2	7	11	11	92	58	36	32	13	9
SCPT1	2	A	0,4	5	8	8	70	46	34	31	11	7
SCPT1	3	A	0,6	1	2	2	37	20	31	27	8	1
SCPT1	4	A	0,8	1	2	2	34	19	31	27	8	1
SCPT1	5	A	1,0	1	2	2	33	18	30	27	8	1
SCPT1	6	A	1,2	7	11	11	61	45	34	30	13	9
SCPT1	7	B	1,4	14	21	21	74	61	37	32	18	18
SCPT1	8	B	1,6	5	8	8	51	35	33	29	11	7
SCPT1	9	B	1,8	4	6	6	46	31	32	29	11	6
SCPT1	10	B	2,0	4	6	6	45	30	32	29	11	6
SCPT1	1	A	2,2	45	68	68	85	77	39	34	42	53
SCPT1	2	A	2,4	38	57	57	80	71	38	34	37	46
SCPT1	3	A	2,6	11	17	17	60	46	34	31	16	15
SCPT1	4	A	2,8	45	68	68	83	74	38	34	42	53
SCPT1	5	A	3,0	38	57	57	78	68	38	33	37	46
SCPT1	6	A	3,2	51	77	77	87	78	39	35	47	59
SCPT1	7	A	3,4	53	80	80	87	78	39	35	49	62

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 46 di 75
--	--

SCPT1	8	A	3,6	60	90	90	89	82	39	35	54	69
SCPT1	9	A	3,8	49	74	74	84	74	40	37	74	58
SCPT1	10	A	4,0	29	44	44	72	60	38	35	52	37
SCPT1	11	A	4,2	34	51	51	77	65	39	36	57	42
SCPT1	12	A	4,4	55	83	83	87	78	40	37	81	64
SCPT1	13	A	4,6	61	92	92	89	80	41	38	88	70
SCPT1	14	A	4,8	77	116	116	95	88	42	39	106	86
SCPT1	15	A	5,0	81	122	122	95	89	42	39	111	90

**Tabella 4.15 - Riepilogo SCPT3**

PROVA	SPT	TERRENO	PROFONDITA'	N <sub>SCPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' <sub>25</sub> (MPa) Jamolkowski NC (1988)
	-		media									
SCPT1	1	A	0,2	7	11	11	92	58	36	32	13	9
SCPT1	2	A	0,4	7	11	11	78	55	36	32	13	9
SCPT1	3	A	0,6	5	8	8	63	44	34	30	11	7
SCPT1	4	A	0,8	2	3	3	43	26	32	28	9	3
SCPT1	5	A	1,0	4	6	6	52	36	33	29	11	6
SCPT1	6	A	1,2	2	3	3	40	24	31	28	9	3
SCPT1	7	B	1,4	2	3	3	38	23	31	28	9	3
SCPT1	8	B	1,6	3	5	5	43	27	32	28	10	4
SCPT1	9	B	1,8	2	3	3	36	22	31	28	9	3
SCPT1	10	B	2,0	4	6	6	45	30	32	29	11	6
SCPT1	1	B	2,2	5	8	8	55	40	34	30	11	7
SCPT1	2	B	2,4	3	5	5	52	37	33	29	10	4
SCPT1	3	B	2,6	4	6	6	52	38	33	30	11	6

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 47 di 75
--	--

SCPT1	4	B	2,8	5	8	8	53	38	33	30	11	7
SCPT1	5	B	3,0	6	9	9	54	39	33	30	12	8
SCPT1	6	B	3,2	72	108	108	96	91	41	36	63	79

**Tabella 4.16 - Riepilogo SCPT4**

#### 4.5.2 Indagini geofisiche

Sono state effettuate n. 9 stendimenti di sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) eseguite per il piano di indagini del 2020 e n. 4 M.A.S.W. eseguite per il piano di indagini del 2016.

Le prove sono state predisposte come strumento diagnostico di ricostruzione stratigrafica delle geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) in un assegnato volume di controllo e al fine di definire la classificazione sismica del sottosuolo per il calcolo dell'azione sismica di riferimento.

Le prospezioni sismiche hanno contribuito, infine, alla definizione dei parametri di rigidezza nel sottosuolo.

I risultati delle suddette indagini e le attribuzioni litologiche date ai sismostrati sono stati tarati a mezzo di un confronto incrociato con le stratigrafie di sondaggio, contribuendo essi stessi alla valutazione delle condizioni litostratigrafiche dei terreni di imposta del polo.

Riguardo i criteri di interpretazione, i valori dei moduli dinamici  $E_0$  (di Young) e  $G_0$  (di taglio) a piccole deformazioni vengono determinati a partire dai valori delle velocità delle onde trasversali  $V_s$ .

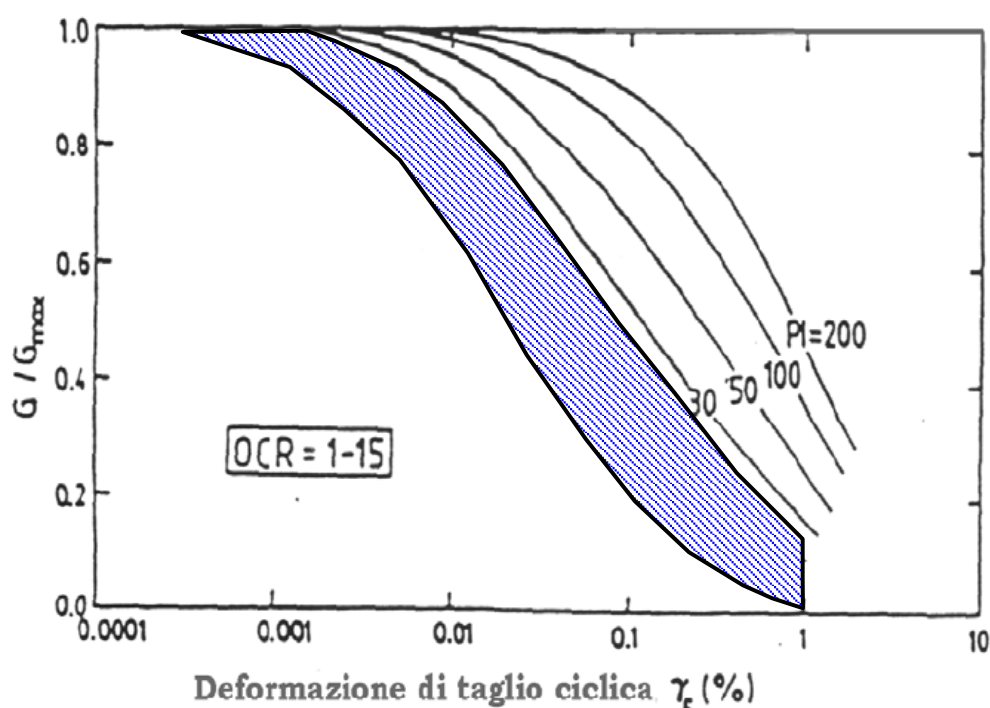
Per l'attribuzione dei parametri dinamici, si sono impiegate le seguenti relazioni, ricavabili dalla teoria dell'elasticità:

$$E_0 = 2 \cdot \gamma / g \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu) = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G_0$$

$$G_0 = \gamma / g \cdot V_s^2$$

dove  $\nu$  è il modulo di Poisson.

Per la valutazione delle rigidzze operative del terreno da impiegare, si è assunta una deformazione assiale di riferimento  $\varepsilon_a$  pari a 0.1%. Tale deformazione unitaria è quella più accreditata da un'ampia raccolta di dati sperimentali su cedimenti di fondazioni superficiali e profonde come valore medio di deformazione nel volume significativo di terreno interessato (equivalente ad un'ampiezza dello sforzo di taglio  $\gamma = 0.125\%$ ). Da tipiche curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G/G_0$  con il livello di deformazione di taglio  $\gamma$  per il fuso di riferimento  $I_p = 0 \div 30$  (rappresentativo dei terreni di interesse), al livello deformativo di 0.1% può assumersi cautelativamente una rigidzza normalizzata  $G/G_0 = 0.30$ , cioè un decadimento dalla rigidzza iniziale  $G_0$  del 70% (cfr. Figura 4.5).



**Figura 4.5 - Curva di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G/G_0$  in funzione della deformazione di taglio  $\gamma$ .**

L'indagine **MASW1** (Multichannel Analysis of Surface Waves) è stata finalizzata alla ricostruzione del modello sismico monodimensionale del sottosuolo tramite la misura della velocità  $V_R$  delle onde superficiali di Rayleigh.

Naturalmente le prove in foro rispetto alle misure sismiche di superficie permettono una più accurata definizione della variabilità dei parametri di deformabilità, per la disponibilità del



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 49 di 75
--	--

sondaggio stratigrafico di taratura, per l'alta capacità di risoluzione, poiché le misure di velocità vengono restituite con passo  $\Delta z = 1.0m$  (differentemente dai certificati della MASW, che riportano un unico valore di velocità per ciascun rifrattore, mediando i dati su ampi volumi di terreno).

Nelle tabelle seguenti vengono riepilogati i risultati della MASW eseguite rispettivamente per il piano di indagini del 2020 e 2016.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 50 di 75
--	--

**MASW 12 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	1,8	0,9	216	0,20	2,00	228	95	68	29
2	1,8	4,3	3,1	320	0,20	2,00	501	209	150	63
3	4,3	9,2	6,8	345	0,20	2,00	582	243	175	73
4	9,2	12,7	11,0	385	0,30	2,60	943	393	283	118
5	12,7	30,0	21,4	471	0,30	2,60	1411	588	423	176
				<b>V<sub>s,30</sub></b>	<b>394</b>	<b>m/s</b>	<b>CATEGORIA B</b>			

**Tabella 4.17 – M.A.S.W.12: elaborazione dati.**

**MASW 11 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	3,1	1,6	243	0,20	2,00	289	120	87	36
2	3,1	4,8	4,0	255	0,20	2,00	318	133	95	40
3	4,8	14,0	9,4	375	0,20	2,00	688	287	206	86
4	14,0	30,0	22,0	521	0,30	2,60	1727	719	518	216
				<b>V<sub>s,30</sub></b>	<b>402</b>	<b>m/s</b>	<b>CATEGORIA B</b>			

**Tabella 4.18 – M.A.S.W.11: elaborazione dati.**

**MASW 10 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	3,1	1,6	297	0,20	2,00	432	180	129	54
2	3,1	5,7	4,4	485	0,20	2,00	1151	480	345	144
3	5,7	15,3	10,5	632	0,30	2,60	2541	1059	762	318
4	15,3	30,0	22,7	882	0,30	2,60	4948	2062	1484	619
				<b>V<sub>s,15,3</sub></b>	<b>494</b>	<b>m/s</b>	<b>CATEGORIA B</b>			

**Tabella 4.19 – M.A.S.W.10: elaborazione dati.**

**MASW 9 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 51 di 75
--	--

1	0,0	2,9	1,5	415	0,20	2,00	843	351	253	105
2	2,9	4,5	3,7	681	0,20	2,00	2269	945	681	284
3	4,5	9,5	7,0	927	0,20	2,00	4205	1752	1261	526
4	9,5	30,0	19,8	1106	0,30	2,60	7781	3242	2334	973

**$V_{s,4.5}$  482 m/s CATEGORIA B**

**Tabella 4.20 – M.A.S.W.9: elaborazione dati.**

**MASW 8 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	1,1	0,6	185	0,20	2,00	167	70	50	21
2	1,1	3,9	2,5	312	0,20	2,00	476	198	143	60
3	3,9	5,2	4,6	394	0,20	2,00	760	316	228	95
4	5,2	13,9	9,6	450	0,20	2,00	991	413	297	124
5	13,9	30,0	22,0	650	0,30	2,60	2687	1120	806	336

**$V_{s,30}$  481 m/s CATEGORIA B**

**Tabella 4.21 – M.A.S.W.8: elaborazione dati.**

**MASW 7 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	3,8	1,9	780	0,20	2,00	2977	1240	893	372
2	3,8	7,6	5,7	669	0,20	2,00	2190	912	657	274
3	7,6	14,7	11,2	663	0,20	2,00	2151	896	645	269
4	14,7	30,0	22,4	944	0,30	2,60	5668	2362	1701	709

**$V_{s,30}$  691 m/s CATEGORIA B**

**Tabella 4.22 – M.A.S.W.7: elaborazione dati.**

**MASW 6 (2020)**

Strato	prof.strato [m]						iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]	Vs [m/s]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [t/mc]	E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	1,8	0,9	740	0,20	2,00	2679	1116	804	335
2	1,8	4,3	3,1	790	0,20	2,00	3054	1272	916	382
3	4,3	9,2	6,8	890	0,30	2,60	5038	2099	1512	630
4	9,2	12,7	11,0	1100	0,30	2,60	7697	3207	2309	962
5	12,7	30,0	21,4	1300	0,30	2,60	10750	4479	3225	1344

**$V_{s,4.0}$  715 m/s CATEGORIA B**

**Tabella 4.23 – M.A.S.W.6: elaborazione dati.**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 52 di 75
--	--

**MASW 5 (2020)**

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]				E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	1,0	0,5	750	0,20	2,00	2752	1147	826	344
2	1,0	7,7	4,4	850	0,30	2,60	4596	1915	1379	574
3	7,7	11,2	9,5	1100	0,30	2,60	7697	3207	2309	962
4	11,2	30,0	20,6	1350	0,30	2,60	11593	4830	3478	1449

$V_{s,1,0}$  750 m/s CATEGORIA A

**Tabella 4.24 – M.A.S.W.5: elaborazione dati.**

**MASW 13 (2020)**

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]				E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	4,3	2,2	354	0,20	2,00	613	255	184	77
2	4,3	5,8	5,1	677	0,30	2,60	2915	1215	875	364
3	5,8	14,9	10,4	928	0,30	2,60	5478	2282	1643	685
4	14,9	30,0	22,5	1310	0,30	2,60	10916	4548	3275	1364

$V_{s,5,8}$  404 m/s CATEGORIA B

**Tabella 4.25 – M.A.S.W.13: elaborazione dati.**

**MASW 4 (2016)**

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]				E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	3,2	1,6	410	0,20	2,00	823	343	247	103
2	3,2	5,5	4,4	650	0,30	2,60	2687	1120	806	336
3	5,5	9,8	7,7	1060	0,30	2,60	7147	2978	2144	893
4	9,8	30,0	19,9	1260	0,30	2,60	10098	4208	3030	1262

$V_{s,30}$  954 m/s CATEGORIA B

**Tabella 4.26 – M.A.S.W.4: elaborazione dati.**

**MASW 3 (2016)**

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	$\gamma$ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]				E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	2,5	1,3	600	0,20	2,00	1761	734	528	220

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 53 di 75
--	--

2	2,5	7,7	5,1	1010	0,30	2,60	6489	2704	1947	811
3	7,7	16,9	12,3	1250	0,30	2,60	9939	4141	2982	1242
4	16,9	30,0	23,5	1760	0,30	2,60	19703	8210	5911	2463

$V_{s,30}$	1244	m/s	CATEGORIA A
------------	------	-----	-------------

**Tabella 4.27 – M.A.S.W.3: elaborazione dati.**

MASW 2 (2016)										
Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	γ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]				E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	1,5	0,8	440	0,20	2,00	947	395	284	118
2	1,5	4,5	3,0	800	0,30	2,60	4071	1696	1221	509
3	4,5	10,4	7,5	870	0,30	2,60	4815	2006	1444	602
4	10,4	25,7	18,1	920	0,30	2,60	5384	2243	1615	673
5	25,7	30,0	27,9	1670	0,30	2,60	17740	7392	5322	2217
				V <sub>s,30</sub>	905	m/s	CATEGORIA A			

**Tabella 4.28 – M.A.S.W.2: elaborazione dati.**

MASW 1 (2016)										
Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	γ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	media [m]				E <sub>0</sub> [MPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	1,2	0,6	120	0,20	2,00	70	29	21	9
2	1,2	3,6	2,4	620	0,30	2,60	2445	1019	734	306
3	3,6	8,4	6,0	1060	0,30	2,60	7147	2978	2144	893
4	8,4	21,1	14,8	1350	0,30	2,60	11593	4830	3478	1449
5	21,1	30,0	25,6	1800	0,30	2,60	20609	8587	6183	2576
				V <sub>s 30</sub>	916	m/s	CATEGORIA E			

**Tabella 4.29 – M.A.S.W.1: elaborazione dati.**

Si sottolinea che per l'ultima MASW dell'elenco eseguita nella campagna di indagini del 2016, facendo riferimento alle "Categorie del sottosuolo" della NTC 2018 (§3.2.2, Tab. 3.2.II), la prova MASW1 ha la profondità del substrato inferiore ai 30m (  $V_s > 800$  m/s a partire da 3,6m da p.c) ed inoltre lo strato al di sopra del substrato ha una  $V_s = 260$  m/s (ricadente nella categoria sottosuolo C). In tali condizioni per l'Area su cui è stata eseguita la MASW1 la categoria stratigrafica è di tipo E.(vedi Tabella 4.30)

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 54 di 75
--	--

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

**Tabella 4.30 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Per le aree di intervento al di fuori di quella su cui ricade la MASW1 si fa riferimento alle MASW corrispettive. In linea generale per le restanti aree il profilo di velocità delle onde di taglio, individuano categorie del suolo di tipo A o B.

Si distingue nelle analisi delle paratie il modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine  $E_{VC}$ , e la stessa quantità determinata, però, nel tratto di scarico e ricarico  $E_{UR}$ , entrambi variabili secondo il livello di sforzo corrente ed il conseguente livello deformativo.

Il modulo elastico nel tratto di scarico e ricarico  $E_{UR}$  può identificarsi con il modulo elastico operativo  $E_{operativo}$  ed è pari al 30% del modulo tangente iniziale  $E_0$  della curva sforzi-deformazioni:

$$E_{UR} = E_{operativo} = 0.3 \cdot E_0$$

Può inoltre assumersi  $E_{UR}/E_{VC} = 1.6$ , con  $E_{VC}$  modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine.

Sulla base dei dati diagrammati, può assumersi:

- in corrispondenza della "MASW12",

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 55 di 75
--	--

- TERRENO A:  $E_{UR} = 68 \div 150 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 42 \div 94 \text{ MPa}$ ;
- TERRENO B:  $E_{UR} = 175 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 109 \text{ MPa}$ ;
- in corrispondenza della "MASW 8",
- TERRENO A:  $E_{UR} = 50 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 31 \text{ MPa}$ ;
- TERRENO B:  $E_{UR} = 143 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 89 \text{ MPa}$ ;
- in corrispondenza della "MASW 10",
- TERRENO B:  $E_{UR} = 130 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 81 \text{ MPa}$ ;
- in corrispondenza della "MASW 11",
- TERRENO A:  $E_{UR} = 87 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 54 \text{ MPa}$ ;
- TERRENO B:  $E_{UR} = 95 \div 206 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 59 \div 129 \text{ MPa}$ ;
- in corrispondenza della "MASW 1" (2016),
- TERRENO A:  $E_{UR} = 21 \text{ MPa}$ ,  $E_{VC} = 13 \text{ MPa}$ ;

il valore massimo adottato per la determinazione del range del modulo  $E_{UR}$  è stato scelto eseguendo una media dei valori ottenuti del modulo operativo.

Di seguito si riportano i valori medi della coesione non drenata  $S_U$  desunte dai poket.

Le prove al poket penetrometer, consistono nell'infiggere a pressione la sonda penetrometrica fino al segno indicato sull'asta metallica. In corrispondenza della scala graduata si legge il valore approssimato di  $q_U$  (compressione monoassiale non confinata), pari al doppio del valore della coesione non drenata  $S_U$ . Tali valori sono però da ritenersi poco attendibili perché i campioni prelevati sono sempre disturbati dalle operazioni di sondaggio. Ma non avendo in questo caso una prova ad espansione laterale libera che ci determini il valore della  $S_U$  si riportano le prove poket per una stima cautelativa della coesione non drenata del terreno franoso.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b></p>	<p>P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 56 di 75</p>
---	--

SONDAGGIO n°	SPT -	TERRENO	PROFONDITA' media	LITOLOGIA	RP (kg/cm <sup>2</sup> )	RP (kPa)	S <sub>u</sub> (kPa)
S5	PP1	B	7,5	Argilla limosa	1,5	150	75
S5	PP2	B	8,0	Argilla limosa	2,0	200	100
S5	PP3	B	15,6	Limo argilloso	3,0	300	150
S5	PP4	B	15,9	Limo argilloso	3,5	350	175

MAX	3,5	350,0	0,0
MIN	1,5	150,0	75,0
MEDIA	2,5	250,0	125,0

**Tabella 4.31 – Prova poket S5 (TERRENO B): valori medi.**

SONDAGGIO n°	SPT -	TERRENO	PROFONDITA' media	LITOLOGIA	RP (kg/cm <sup>2</sup> )	RP (kPa)	S <sub>u</sub> (kPa)
S11	PP1	B	4,5	Limo	2,5	250	125
S11	PP2	B	4,6	Limo	2,5	250	125
S11	PP3	B	4,7	Limo	2,0	200	100
S11	PP4	B	4,8	Limo	2,5	250	125
S11	PP5	B	4,9	Limo	3,5	350	175
S11	PP6	B	5,0	Argilla limosa	3,3	325	163
S11	PP7	B	5,1	Argilla limosa	2,5	250	125
S11	PP8	B	18,3	Argilla limosa	2,0	200	100



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 57 di 75
--	--

S11	PP9	B	18,4	Argilla limosa	2,5	250	125
S11	PP10	B	18,5	Argilla limosa	2,0	200	100
S11	PP11	B	18,6	Argilla limosa	2,5	250	125
S11	PP12	B	18,7	Argilla limosa	2,5	250	125

MAX	3,5	350,0	175,0
MIN	2,0	200,0	100,0
MEDIA	2,5	252,1	126,0

**Tabella 4.32 – Prova poket S11 (TERRENO B): valori medi.**

SONDAGGIO n°	SPT -	TERRENO	PROFONDITA' media	LITOLOGIA	RP (kg/cm <sup>2</sup> )	RP (kPa)	S <sub>u</sub> (kPa)
S12	PP1	B	7,4	Limo	1,5	150	75
S12	PP2	B	7,5	Limo	2,0	200	100
S12	PP3	B	7,6	Limo	2,0	200	100
S12	PP4	B	7,7	Limo	1,5	150	75
S12	PP5	B	7,8	Limo	2,0	200	100
S12	PP6	B	7,9	Argilla limosa	2,5	250	125
S12	PP7	B	8,0	Argilla limosa	1,8	175	88
S12	PP8	B	8,1	Argilla limosa	1,3	125	63
S12	PP9	B	8,2	Argilla limosa	1,5	150	75
S12	PP10	B	8,3	Argilla limosa	1,5	150	75
S12	PP11	B	8,4	Argilla limosa	1,5	150	75

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA'  DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS  TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI  Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone  CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013  PROGETTO ESECUTIVO  <b>Relazione geotecnica</b></p>	<p>P00_GE_00_GET_R  E_01_A  Data:Giugno 2024  Pag. 58 di 75</p>
---	---

S12	PP12	B	8,5	Argilla limosa	1,3	125	63
S12	PP13	B	8,6	Argilla limosa	1,5	150	75
S12	PP14	B	8,7	Argilla limosa	1,5	150	75
S12	PP15	B	8,8	Argilla limosa	1,0	100	50
S12	PP16	B	8,9	Argilla limosa	1,3	125	63
S12	PP17	B	9,0	Argilla limosa	1,0	100	50

MAX	2,5	250,0	125,0
MIN	1,0	100,0	50,0
MEDIA	1,6	155,9	77,9

**Tabella 4.33 – Prova poket S12 (TERRENO B): valori medi.**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 59 di 75
--	--

#### 4.5.3 Prove di laboratorio

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 60 di 75
--	--

#### 4.5.3.1 Caratteristiche geomeccaniche delle Marne (substrato)

I dati ricavati dal rilievo geomeccanico sono stati utilizzati per la determinazione della qualità dell'ammasso roccioso, esprimibile attraverso appositi indici, che hanno lo scopo di permettere una valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso nel suo complesso.

Per il presente studio è stata impiegata la classificazione tecnica di Bieniawski (1973 e successive modifiche). Essa fornisce un valore numerico (*RMR*) derivato dalla somma di indici parziali (A1÷A5) stimati attraverso la valutazione qualitativa o quantitativa di parametri relativi allo stato dell'ammasso roccioso. Di seguito si riportano i valori degli indici di qualità dell'ammasso roccioso in base alle classi di resistenza e ai valori dei parametri geostrutturali secondo la versione della classificazione del 1976.

PARAMETRI			INTERVALLI DI VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale(Mpa)	>8	4-8	2-4	1-2	Non applicabile		
		Compressione monoassiale(MPa)	>200	100-200	50-100	25-50	10-25	3-10	1-3
	Indice		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Indice		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI (m)		>3	1-3	0,3-1	0,05-0,3	<0,05		
	Indice		30	25	20	10	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia dura	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia tenera	Superfici lisce o laminate o riempimento<5mm o apertura 1-5mm. Giunti continui	Riempimento tenero con spessore >5mm o giunti aperti>5 mm. Giunti continui		
	Indice		25	20	12	6	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m di lunghezza del tunnel (litri/min)	Assente		< 25	25-125	>125		
		Rapporto Pressione acqua nei giunti/Pressione naturale in sito	0		0-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Condizioni generali	Giunti asciutti		Umidi	Acqua in debole pressione	Gravi problemi idraulici		
	Indice		10		7	4	0		

**Tabella 4.34 – Classificazione di Bieniawski 1976.**

Nella tabella riportata, vengono riepilogati i valori stimati per gli indici parziali dai rilievi geomeccanici eseguiti sugli spezzoni di carota.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 61 di 75
--	--

Riguardo le grandezze riportate nelle tabelle, in particolare,  $\sigma_{c_i}$  è la resistenza a compressione monoassiale del materiale “roccia intatta”,  $RQD$  l'indice di recupero percentuale modificato di carotaggio,  $N_l$  è il numero di discontinuità per metro lineare.

Per  $\sigma_{c_i}$ , resistenza a compressione monoassiale del materiale “roccia intatta”, come mostrato nel seguito, si assume  $\sigma_{c_i}=10-25$  MPa, a vantaggio di sicurezza, per le prove eseguite nel 2016 e  $\sigma_{c_i}=25-50$  MPa per i campioni appartenenti alle indagini eseguite nel 2020.

Il valore di  $RQD$ , indice di recupero percentuale modificato di carotaggio, è stato stimato  $A2= 13$  per entrambe le campagne.

La grandezza  $N_l$  è stata ottenuta tenendo conto del valore medio della tabella di seguito riportata, quindi  $A3= 10$ .

Per il parametro di valutazione “condizioni dei giunti” si è assunto  $A4=6$ .

Per il parametro di valutazione “condizioni idrauliche”, si sono assunte le condizioni di riferimento “Giunti umidi” (indice  $A5=7$ ).

A seguito dell'attribuzione di tutti i coefficienti, la somma dei 5 indici parziali fornisce il valore di Basic RMR ( $BRMR$ ). Tale grandezza corrisponde numericamente al parametro  $GSI$  (Geological Strenght Index), grandezza collegata ai fattori  $m$ ,  $a$  ed  $s$  della metodologia di Hoek e Brown (1994), successivamente impiegata per la definizione dei parametri di resistenza dell'ammasso.

Risulta, in particolare:

$$GSI = BRMR_{76} \text{ (solo per } BRMR > 18 \text{)}.$$

Si riportano di seguito le tabelle sulle l'interpretazione delle prove di laboratorio eseguite sui campioni del 2016 e quelle eseguite sui campioni del 2020.

Nella parte bassa della tabella, sono riportati evidenziati in giallo i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard calcolati per  $GSI$  lungo l'intera verticale.

Beniawski 1976

Sondaggio	Profondità (da m)	Profondità (a m)	Unità	$\sigma_{c,i}$ (Mpa)	A1	RQD (%)	A2	NI	Spaziatura giunti (m)	A3	A4 (Condizioni giunti)	Condizioni idrauliche	A5	BRMR = GSI
S1	2	3	MARNE	16,41	2	0	3	17,4	0,06	10	6	umidi	7	28
S1	3	4	MARNE	16,41	2	58	13	8,6	0,12	10	6	umidi	7	38
S1	4	5	MARNE	16,41	2	95	20	3,0	0,33	10	6	umidi	7	45
S2	2	3	MARNE	31,07	4	0	3	17,4	0,06	10	6	umidi	7	30
S2	3	4	MARNE	31,07	4	46	8	10,5	0,10	10	6	umidi	7	35
S2	4	5	MARNE	31,07	4	82	17	5,0	0,20	10	6	umidi	7	44
S3	1	2	MARNE	49,11	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S3	2	3	MARNE	49,11	4	88	17	4,1	0,24	10	6	umidi	7	44
S3	3	4	MARNE	49,11	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S3	4	5	MARNE	49,11	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S4	5	6	MARNE	6,89	1	0	3	17,4	0,06	10	6	umidi	7	27
S4	6	7	MARNE	6,89	1	36	8	12,0	0,08	10	6	umidi	7	32
S4	7	8	MARNE	6,89	1	61	13	8,2	0,12	10	6	umidi	7	37
					MAX	100			0,44				MAX	47
					MIN	0			0,06				MIN	27
					MED	59			0,21				MED	39
					DEV ST	40			0,16				DEV ST	8

Tabella 4.35 – TERRENO C (prove 2016): classificazione di Bieniawski (1976).

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 63 di 75
--	--

Beniawski 1976

Sondaggio	Profondità (da m)	Profondità (a m)	Unità	$\sigma_{c,i}$ (Mpa)	A1	RQD (%)	A2	NI	Spaziatura giunti (m)	A3	A4 (Condizioni giunti)	Condizioni idrauliche	A5	BRMR = GSI
S5	12	13	MARNE	63,05	7	80	17	5,3	0,19	10	6	umidi	7	47
S5	13	14	MARNE	63,05	7	95	20	3,0	0,33	10	6	umidi	7	50
S5	14	15	MARNE	63,05	7	95	20	3,0	0,33	10	6	umidi	7	50
S5	15	16	MARNE	63,05	7	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	50
S6	1	2	MARNE	44,79	4	0	3	17,4	0,06	10	6	umidi	7	30
S6	2	5	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	3	4	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	4	5	MARNE	44,79	4	55	13	9,1	0,11	10	6	umidi	7	40
S6	5	6	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	6	7	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	7	8	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	8	5	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	9	10	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	10	11	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S6	11	12	MARNE	44,79	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
S7	12	13	MARNE	25,25	4	20	3	14,4	0,07	10	6	umidi	7	30
S7	13	14	MARNE	25,25	4	15	3	15,2	0,07	10	6	umidi	7	30
S7	14	15	MARNE	25,25	4	25	3	13,6	0,07	10	6	umidi	7	30
S7	15	16	MARNE	25,25	4	50	8	9,8	0,10	10	6	umidi	7	35
S7	16	5	MARNE	25,25	4	30	8	12,9	0,08	10	6	umidi	7	35
S7	17	18	MARNE	25,25	4	20	3	14,4	0,07	10	6	umidi	7	30
S7	18	19	MARNE	25,25	4	95	20	3,0	0,33	10	6	umidi	7	47
S7	19	20	MARNE	25,25	4	70	13	6,8	0,15	10	6	umidi	7	40
S8	8	9	MARNE	53,43	7	60	13	8,3	0,12	10	6	umidi	7	43
S8	9	10	MARNE	53,43	7	30	8	12,9	0,08	10	6	umidi	7	38
S8	10	11	MARNE	53,43	7	15	3	15,2	0,07	10	6	umidi	7	33
S8	11	12	MARNE	53,43	7	0	3	17,4	0,06	10	6	umidi	7	33
S8	12	5	MARNE	53,43	7	20	3	14,4	0,07	10	6	umidi	7	33

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 64 di 75
--	--

S8	13	14	MARNE	53,43	7	0	3	17,4	0,06	10	6	umidi	7	33
S8	14	15	MARNE	53,43	7	30	8	12,9	0,08	10	6	umidi	7	38
S8	15	16	MARNE	53,43	7	60	13	8,3	0,12	10	6	umidi	7	43
S8	16	17	MARNE	53,43	7	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	50
S8	17	18	MARNE	53,43	7	60	13	8,3	0,12	10	6	umidi	7	43
S8	18	5	MARNE	53,43	7	95	20	3,0	0,33	10	6	umidi	7	50
S8	19	20	MARNE	53,43	7	20	3	14,4	0,07	10	6	umidi	7	33
S9	25	26	MARNE	72,57	7	70	13	6,8	0,15	10	6	umidi	7	43
S9	26	27	MARNE	72,57	7	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	50
S9	27	28	MARNE	72,57	7	85	17	4,5	0,22	10	6	umidi	7	47
S9	28	29	MARNE	72,57	7	90	17	3,8	0,26	10	6	umidi	7	47
S9	29	30	MARNE	72,57	7	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	50
S10	10	11	MARNE	33,28	4	90	17	3,8	0,26	10	6	umidi	7	44
S10	11	12	MARNE	33,28	4	80	17	5,3	0,19	10	6	umidi	7	44
S10	12	13	MARNE	33,28	4	45	8	10,6	0,09	10	6	umidi	7	35
S10	13	14	MARNE	33,28	4	15	3	15,2	0,07	10	6	umidi	7	30
S11	20	21	MARNE	34,68	4	80	17	5,3	0,19	10	6	umidi	7	44
S11	21	5	MARNE	34,68	4	85	17	4,5	0,22	10	6	umidi	7	44
S11	22	20	MARNE	34,68	4	80	17	5,3	0,19	10	6	umidi	7	44
S11	23	24	MARNE	34,68	4	90	17	3,8	0,26	10	6	umidi	7	44
S11	24	25	MARNE	34,68	4	35	8	12,1	0,08	10	6	umidi	7	35
S12	9	10	MARNE	32,39	4	57	13	8,8	0,11	10	6	umidi	7	40
S12	10	11	MARNE	32,39	4	95	20	3,0	0,33	10	6	umidi	7	47
S12	11	12	MARNE	32,39	4	100	20	2,3	0,44	10	6	umidi	7	47
					MAX	100			0,44				MAX	50
					MIN	0			0,07				MIN	30
					MED	66			0,22				MED	42
					DEV ST	34			0,12				DEV ST	7

Tabella 4.36 – TERRENO C (prove 2020): classificazione di Bieniawski (1976).



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 65 di 75
--	--

Dalle tabelle è stato ricavato il valore medio della

In riferimento ai test di compressione, il valore di  $\sigma_{ci}$  dedotto dai dati sperimentali viene corretto per tener conto dell'effetto scala in funzione del diametro  $D$  e della lunghezza  $L$  del provino in base alla relazione:

$$\sigma_{cc} = \frac{\sigma_{ci}}{0.88 + (0.24D/L)} \cdot$$

								Compressione monoassiale	Correzione
S n°	C n°	LITOLOGIA -	DESCRIZIONE -	PROFONDITA' m	$\gamma_n$ kN/m <sup>3</sup>	D mm	L mm	$\sigma_c$ MPa	$\sigma_{cc}$ MPa
S1	CL1	MARNE		4,80	26,72	77,52	154,42	16,4	16,4
S2	CL2	MARNE		4,71	26,04	77,53	157,74	31,1	31,1
S3	CL3	MARNE		2,85	26,39	77,49	157,02	49,1	49,1
S4	CL4	MARNE		7,54	26,27	77,48	157,31	6,89	6,89
				MAX	7,5	26,7		49,1	49,1
				MIN	2,9	26,0		6,9	6,9
				MEDIA	5,0	26,4		25,9	25,9

**Tabella 4.37 –prove di laboratorio (2016).**

								Compressione monoassiale	Correzione
S n°	C n°	LITOLOGIA -	DESCRIZIONE -	PROFONDITA' m	$\gamma_n$ kN/m <sup>3</sup>	D mm	L mm	$\sigma_c$ MPa	$\sigma_{cc}$ MPa
INDAGINI 2020	S5	CL1	MARNE	13,50	25,50	79,10	79,50	63,1	56,4
	S6	CL2	MARNE	10,60	25,30	78,80	79,00	44,8	40,0
	S7	CL3	MARNE	18,00	25,00	78,00	80,10	25,3	22,7
	S8	CL1	MARNE	17,60	25,00	79,00	79,80	53,4	47,8
	S9	CL2	MARNE	29,70	25,60	78,90	79,20	72,6	64,8
	S10	CL3	MARNE	10,00	25,20	76,60	81,30	33,3	30,1
	S11	CL1	MARNE	21,20	24,90	78,50	81,60	34,7	31,2
	S12	CL2	MARNE	11,20	25,40	78,50	79,40	32,4	29,0
					MAX	29,7	25,6	72,6	64,8
					MIN	10,0	24,9	25,3	22,7
					MEDIA	16,5	25,2	44,9	40,2

**Tabella 4.38 –prove di laboratorio (2020).**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 66 di 75
--	--

Come si può notare dalle tabelle, la geometria dei provini del 2016 sottoposti alla prova di compressione monoassiale, è stata scelta in modo tale da ottenere i valori di  $\sigma_c$  e  $\sigma_{cc}$  coincidenti.

Per l'attribuzione della costante del criterio di rottura di Hoek-Brown  $m_i$  si è fatto affidamento su dati di letteratura. Per le Calcisiltiti in oggetto Bruschi (2004) riporta i valori suggeriti da Hoek,  $m_i = 7 \pm 2$  (Siltstones). Tanzini (2006) propone per campioni di roccia intatta siltitici  $m_i = 10 \pm 1$ .

Le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso dipendono sia dalle caratteristiche del materiale roccioso intatto che dalle discontinuità presenti.

I parametri di resistenza dell'ammasso sono stati valutati in accordo con la **metodologia di Hoek e Brown (1994)**.

Essa adotta il seguente criterio di resistenza:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{c_i} \left[ m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{c_i}} + s \right]^a$$

in cui:

- $\sigma_1$  è la massima tensione principale efficace;
- $\sigma_3$  è la minima tensione principale efficace;
- $\sigma_{c_i}$  è la resistenza a compressione semplice per un provino standard intatto;
- $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  sono costanti caratteristiche di ciascun tipo di ammasso, determinate in funzione della qualità dell'ammasso roccioso, espressa sinteticamente dall'indice *GSI* (si veda, ad esempio, "*Practical guide of rock engineering*", Hoek, 2006).

Il passaggio ai parametri coesione  $c'$  e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  del criterio di resistenza di Mohr-Coulomb è possibile a mezzo di un processo di inversione dell'interpolazione lineare della curva generata dalla soluzione dell'equazione risolvete per il criterio di resistenza, con la procedura proposta dallo stesso Hoek (2002) ed implementata nel programma RocLab.

Poiché il criterio di Hoek e Brown esprime una correlazione fra resistenza al taglio del materiale e pressione di confinamento di tipo marcatamente non lineare, i valori di  $c'$  e  $\phi'$  variano in funzione dello sforzo normale efficace agente.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 67 di 75
--	--

Si è dunque adottato un approccio interpretativo che fornisce i parametri di resistenza ( $c'-\phi'$ ) mediati all'interno di un appropriato campo di tensione principale minore  $\sigma_3$ , piuttosto che restituire i parametri di resistenza a taglio "istantanei" di Mohr-Coulomb, legati allo specifico livello tensionale individuato sulla curva di rottura dal valore di tensione  $\sigma_1$ .

Per la definizione del limite superiore della tensione di confinamento  $\sigma_{3MAX}$  ci si è riferiti allo specifico problema:

$$\sigma_{3MAX} = 0.72 \cdot \sigma'_{cm} \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-0.91} \quad \text{per scavi e fondazioni superficiali,}$$

$$\sigma_{3MAX} = 0.47 \cdot \sigma'_{cm} \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-0.94} \quad \text{per pali di fondazione,}$$

dove  $\sigma'_{cm}$  è la resistenza dell'ammasso,  $\gamma$  è il peso unitario dell'ammasso,  $H$  è l'altezza dello scavo/lunghezza del palo. In particolare, si è estesa ai pali tale formulazione suggerita dagli autori per le gallerie.

Per l'equazione risolvete per la determinazione di  $\sigma'_{cm}$ , si rimanda al riferimento bibliografico Hoek, E. and Brown, E.T. 1988. The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. (ed. J.C. Curran), 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering, University of Toronto.

Sempre a mezzo del programma RocLab, sono stati ottenuti i valori del modulo di deformazione d'ammasso  $E_d$  determinati dall'approccio di Hoek & Brown, calcolati come (Hoek e Diederichs, 2006):

$$E_d = E_i \cdot \left( 0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\frac{60 + 15D - GSI}{11}}} \right) \quad [MPa].$$

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 68 di 75
--	--

Il modulo elastico della roccia intatta  $E_i$  è stato stimato sulla base della classificazione di Deere e Miller (1966), che esprime il modulo in funzione della resistenza a compressione  $\sigma_{c_i}$ .

In particolare, viene assunta a riferimento la retta limite inferiore individuata dagli Autori per litotipi marnosi sulla base di dati raccolti da esperienze dirette:

$$E_i = 375 \cdot \sigma_{c_i} \text{ (Siltstones)}.$$

Sulla base dei dati analizzati in precedenza, sono stati individuati degli intervalli di variazione di riferimento per i parametri di ammasso, sintetizzati in Tabella 4.39.

		<b>Calcare</b>
Peso di Volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )		26.5
Classificazione Hoek-Brown	GSI	38
	m <sub>i</sub>	7
	$\sigma_{c,i}$ (MPa)	10
	E <sub>i</sub> (GPa)	37.5

**Tabella 4.39 – Marne (campagna 2016): intervalli di variazione dei parametri d'ammasso Hoek-Brown.**

		<b>Calcare</b>
Peso di Volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )		25.0
Classificazione Hoek-Brown	GSI	40
	m <sub>i</sub>	7
	$\sigma_{c,i}$ (MPa)	25
	E <sub>i</sub> (GPa)	93.75

**Tabella 4.40 – Marne (campagna 2020): intervalli di variazione dei parametri d'ammasso Hoek-Brown.**

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 69 di 75
--	--

Le analisi sono state svolte, inoltre, con riferimento a:

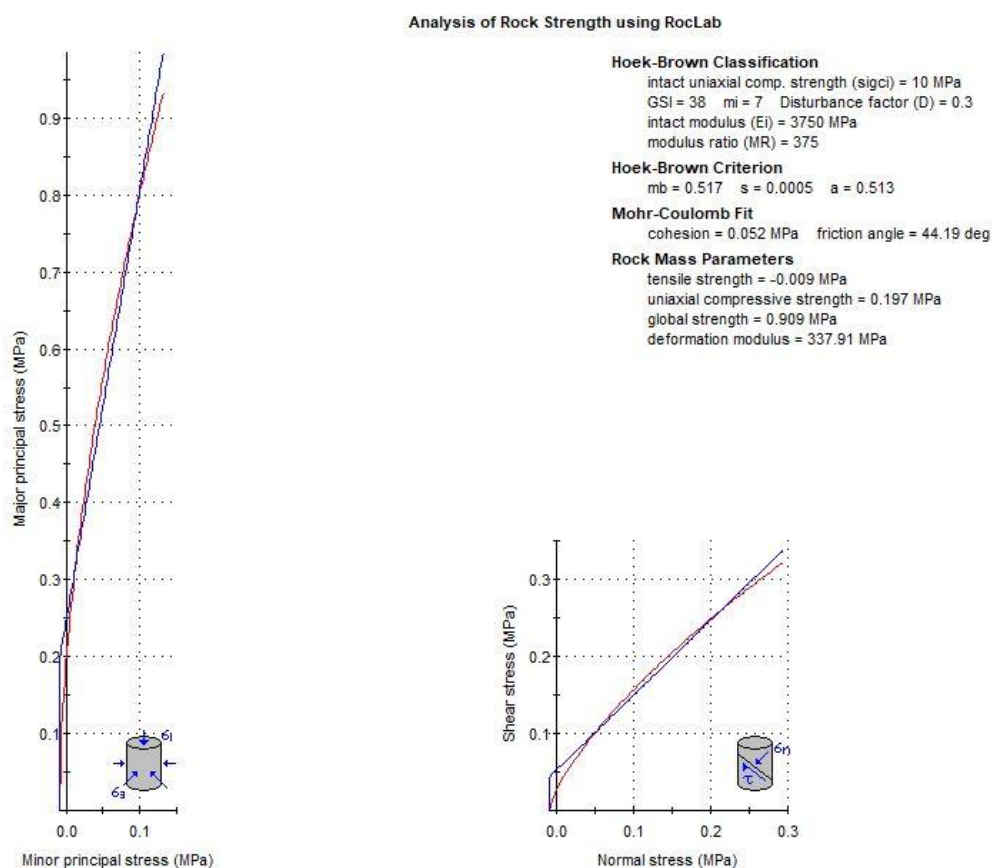
- profondità  $H$  pari a 10.0m rappresentativa della profondità media del tratto di palo);
- fattore di disturbo  $D = 0.7$  (lo scavo dei pali incrementa possibili disturbi).

Nel seguito sono riprodotti gli inviluppi di rottura ottenuti con il programma RocLab sia nel piano delle tensioni principali ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) che nel piano di Mohr ( $\tau - \sigma_n$ ).

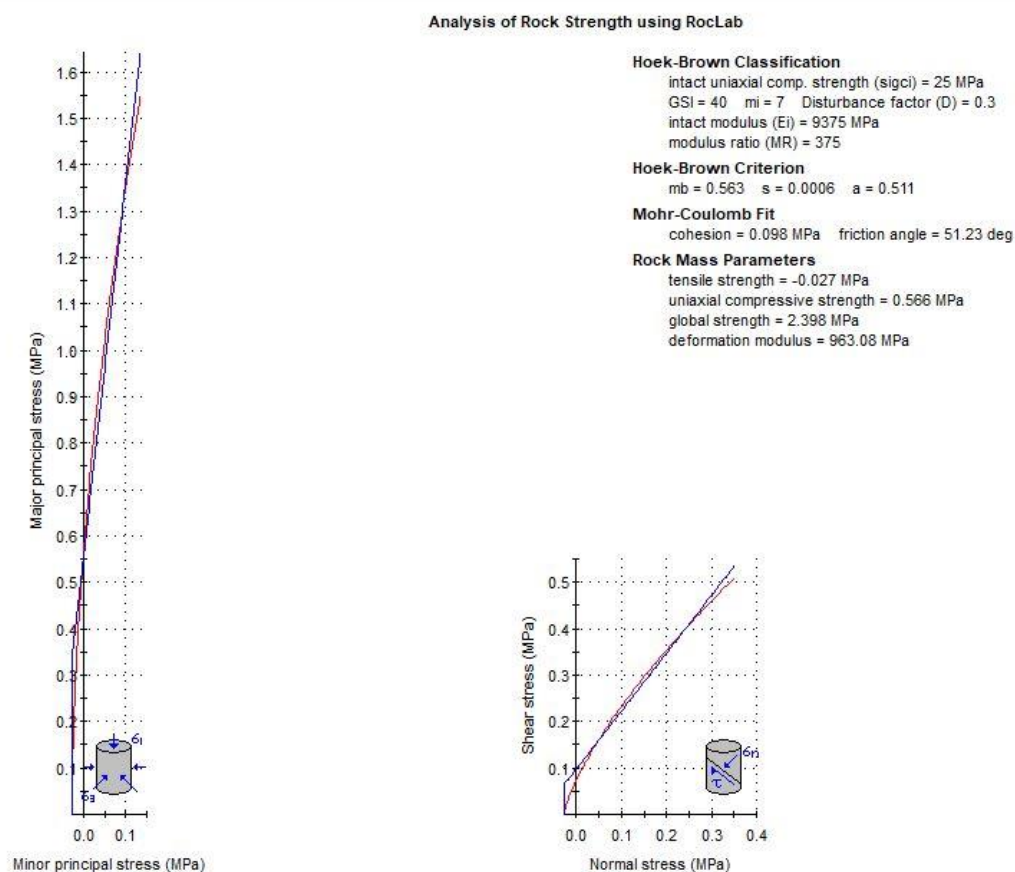
La curva che definisce l'involuppo di rottura esaminato è affiancata dal limite di rottura a bilatera (in blu), che definisce nel campo tensionale di riferimento (nello specifico pari a  $\sigma_3 = [0 \div \sigma_{3,MAX}] = [0 \div 0.1317MPa]$  per la campagna indagini 2016 e  $[0 \div \sigma_{3,MAX}] = [0 \div 0.1346MPa]$  per la campagna indagini 2020) in maniera univoca, la coppia dei parametri di resistenza a taglio.

La coppia di parametri di resistenza a taglio  $c'$  e  $\phi'$  individuata dalla poligonale bilatera è pari a  $c' = 52-90$  kPa e  $\phi' = 44^\circ-51^\circ$  circa.

Il valore del modulo di deformazione d'ammasso  $E_d$  determinato dall'approccio di Hoek & Diederichs è  $E_d \cong 300 - 960MPa$ .



**Figura 4.6 – Marne (campagna indagini 2016): involucro di rottura nel piano delle tensioni principali (Hoek & Brown) e nel piano di Mohr.**



**Figura 4.7 - Marne (campagna indagini 2020): involucro di rottura nel piano delle tensioni principali (Hoek & Brown) e nel piano di Mohr.**

Per i campioni della campagna di indagini del 2016 sono stati eseguiti anche 4 prove di trazione indiretta “*Brasiliana*”.

La prova ha l’obiettivo di misurare la resistenza a trazione monoassiale, in modo indiretto, di provini di roccia opportunamente predisposti. La validità di questa prova si basa sull’evidenza sperimentale che molti tipi di roccia, sottoposti a stati tensionali biassiali, giungono a rottura per trazione in corrispondenza della loro resistenza a trazione monoassiale allorquando uno sforzo principale risulta essere di trazione e l’altro sforzo principale finito è di compressione, con modulo non superiore a tre volte il valore dello sforzo principale di trazione.

Sono state condotte prove a “carico controllato” con velocità di applicazione della tensione pari a 0.25 MPa/s.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 72 di 75
--	--

I risultati ottenuti per i vari provini sottoposti a prova (un provino per ciascun campione) sono riportati nella tabella seguente.

Campione	Diametro (mm)	Altezza (mm)	Massa totale (g)	Massa volumica (Mg/m <sup>3</sup> )	Forza a rottura (N)	Resistenza a trazione (Mpa)
S1-CL1	77,51	82,62	1037,1	2,660	21360	2,12
S2-CL1	77,48	79,28	959,33	2,566	49470	5,13
S3-CL1	77,49	81,12	1003,25	2,622	47000	4,76
S4-CL1	77,53	80,03	1003,93	2,657	14160	1,45

**Tabella 4.41 – Prove di trazione indiretta “*Brasiliana*”.**



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 73 di 75
--	--

## 5 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

In Tabella 5.1 viene riepilogato il quadro di sintesi dei parametri geotecnici di diretta utilizzazione nei calcoli progettuali.

### Legenda:

- $\gamma$  : peso di volume;
- $c'$  : coesione efficace;
- $\phi'$  , angolo di resistenza al taglio;
- $S_u$  : resistenza non drenata;
- $E'$ : modulo elastico (Denver, 1982);
- $E'_{25}$ : modulo elastico corrispondente a tensioni dell'ordine del 25% di quelle a rottura(Jamiolkowski, 1988);
- $E_{VC}$ : modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine (per paratie);
- $E_{UR}$ : modulo elastico valutato nel tratto di scarico-ricarico (per paratie);
- $G_0$ : modulo di taglio a piccole deformazioni o "iniziale";
- $\nu'$  : coefficiente di Poisson;

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 74 di 75
--	--

Unità	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$S_u$ (kPa)	$E'$ (MPa)	$E'_{25}$ (MPa)	$E_{vc}$ (MPa)	$E_{UR}$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$v'$ (-)
TERRENO A	Riporti (coltre stradale)	19.5	0	30 ÷ 35	-	10 ÷ 15	5 ÷ 20	10 ÷ 50	16 ÷ 80	35 ÷ 80	0.25
TERRENO B	Frana (coltre eluvio- colluviale)	20	0	25 ÷ 30	50 ÷ 100	10 ÷ 20	5 ÷ 20	50 ÷ 110	80 ÷ 176	40 ÷ 90	0.2
TERRENO C	Marne	25-26.5	50 ÷ 90	40 ÷ 50	-	300 ÷ 960	-	300 ÷ 960	300 ÷ 960	-	0.3

**Tabella 5.1 – Parametri geotecnici: valori caratteristici  $X_k$**

Si tenga debitamente in conto che il range dei parametri sono stati determinati valutando i risultati di laboratorio ed in sito di tutti i sondaggi eseguiti nel 2020 e quelli pregressi del 2016.

In fase di scelta dei parametri da utilizzare nei modelli di calcolo, per ogni area di intervento, la valutazione degli stessi va fatta in funzione dei sondaggi e prove in sito di appartenenza. Conseguentemente la paremetrizzazione “di dettaglio” per ogni area di progetto viene riportata nell’elaborato specifico di calcolo delle opere di sostegno.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione geotecnica</b>	P00_GE_00_GET_R E_01_A Data:Giugno 2024 Pag. 75 di 75
--	--

## BIBLIOGRAFIA

- CESTELLI GUIDI C. (1980) *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*, Hoepli.
- LANCELLOTTA R. (1987) *Geotecnica*, Zanichelli.
- LAMBE W. E R.V. WHITMAN (1978) *Soil Mechanics*, Wiley & Sons.
- VIGGIANI C. (1993) *Fondazioni*, CUEN.
- CESTARI F. (1990) *Prove geotecniche in sito*, Geo-graph s.n.c..
- HUNT R.E. (1989) *Geotechnical Engineering Investigation Manual*
- AA.VV. (2004) *Carl 9.0 – Carico limite e cedimenti – Manuale d'uso*, Aztec Informatica®
- MAMMINO A. (1994) *I micropali: tecniche di progetto e di verifica*, Alinea Editrice s.r.l..
- TANZINI M. (2004) *Micropali e pali di piccolo diametro: aspetti progettuali e tecnologici*, Dario Flaccovio Editore.
- DI FRANCESCO R. (2010) *Geotecnica – Guida pratica alla luce delle nuove NTC2008*, Dario Flaccovio Editore.
- A.G.I. (2005) *Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica – Linee Guida*, Pàtron Editore.
- BRUSCHI A. (2010) *Prove geotecniche in situ – Guida alla stima delle proprietà geotecniche e alla loro applicazione alle fondazioni*, Dario Flaccovio Editore.
- BRUSCHI A. (2004) *Meccanica delle rocce nella pratica geologica ed ingegneristica*, Dario Flaccovio Editore.
- BARLA G. e SCARPELLI G. (2006) *Corso di cultura geotecnica*, Associazione Geotecnica Italiana, Pàtron Editore.
- KRAMER (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- BECCI B., NOVA R. (1987) – *Un metodo di calcolo automatico per il progetto di paratie*. Rivista Italiana di Geotecnica, 1, 33-47
- BIENIAWSKI Z. T. (1989) – *Engineering rock mass classifications*. New York, Wiley
- BOWLES, J.E. (1988) – *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill.